

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.620-7
(06/2017)

**Данные о распространении радиоволн,
требуемые для оценки координационных
расстояний в диапазоне частот
от 100 МГц до 105 ГГц**

Серия Р
Распространение радиоволн



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 Приложении 1 к 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/en>, 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/en>.)

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, 2018 г.

© ITU 2018

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 P.620-7*

**Данные о распространении радиоволн, требуемые для оценки
координационных расстояний в диапазоне частот от 100 МГц до 105 ГГц**

(Вопрос МСЭ-R 208/3)

(1986-1992-1995-1997-1999-2003-2005-2017)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приведено описание метода для определения координационной зоны земной станции в диапазоне частот от 100 МГц до 105 ГГц. Представлены методы прогнозирования для расчета координационной зоны как в условиях ясного неба, так и рассеяния в гидрометеорах (например, рассеяние в дожде).

Ключевые слова

Координационная зона, координационное расстояние, ясное небо, рассеяние в гидрометеорах

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что координационная зона представляет собой зону вокруг земной станции, определенную таким образом, что любые помехи между рассматриваемой земной станцией и наземными станциями за пределами этой зоны можно считать пренебрежимо малыми;
- b)* что определение координационной зоны должно быть основано на самых полных данных о распространении радиоволн и должно быть достаточно консервативным;
- c)* что Всемирная конференция радиосвязи (Стамбул, 2000 год) (ВКР-2000) утвердила пересмотренную версию Приложения 7 к Регламенту радиосвязи (последние изменения в которую были внесены на ВКР-15), основанную на материале Рекомендации МСЭ-R SM.1448, которая, в свою очередь, основана на материале Рекомендации МСЭ-R P.620, охватывающем диапазон частот от 100 МГц до 105 ГГц;
- d)* что в Резолюции 74 (ВКР-03) описан процесс обновления технической базы Приложения 7,
рекомендует,

чтобы для определения координационной зоны для частот выше 100 МГц администрации использовали методы расчета распространения радиоволн, приведенные в Приложении 1.

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 1-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

Приложение 1

1 Введение

В настоящем Приложении приведены данные о распространении радиоволн для использования при расчете координационной зоны и указан прямой метод оценки соответствующих коэффициентов распространения при определении координационного расстояния.

Координационная зона представляет собой зону, за пределами которой помехи между какой-либо земной станцией и наземными станциями (или между работающими в двух направлениях земными станциями), действующими в рамках приведенных далее консервативных допущений, могут считаться пренебрежимо малыми. В остальной части настоящей Рекомендации слова "наземные станции" могут также обозначать работающие в двух направлениях земные станции. Поэтому при определении координационного расстояния возникает необходимость в сравнении требуемых потерь при передаче (минимальные допустимые базовые потери при передаче $L_b(p)$ (дБ), не превышаемые в течение заданного процента времени p в год), основанных на системных и связанных с моделью помех соображениях, с потерями при передаче, обусловленными средой распространения. Требуемое координационное расстояние – это расстояние, при котором эти два типа потерь становятся одинаковыми.

Для охвата разных частотных диапазонов и учета различных механизмов распространения даны разные модели распространения радиоволн. Эти модели позволяют прогнозировать потери при распространении в зависимости от расстояния. Координационные расстояния определяются с помощью итерационных расчетов потерь при распространении в зависимости от расстояния, пока либо не будут получены требуемые потери при передаче, либо не будет достигнуто предельное расстояние.

Важно отметить, что координационная зона не является зоной, в которой исключается совместное использование частот земной и наземной станциями. Часто такое совместное использование частот оказывается возможным, а координационная зона помогает организовать такое использование, указывая, где потенциальную возможность помех между земной станцией и любыми наземными станциями следует оценивать с помощью более подробного анализа на основе соответствующих Рекомендаций МСЭ-R.

В дополнение к методу расчета координационного контура в настоящей Рекомендации приведена информация, которая позволяет получить вспомогательные контуры, помогающие быстро исключить большинство случаев возможных помех при последующем анализе координации наземных станций, попадающих в координационный контур.

2 Структура Рекомендации

Настоящая Рекомендация имеет следующую структуру:

Приложение 1: общая методология определения координационной зоны.

Прилагаемый документ 1 к Приложению 1: определение входных параметров.

Прилагаемые документы 2 и 3 к Приложению 1: уравнения для расчета координационных контуров.

Прилагаемый документ 4 к Приложению 1: эталонная диаграмма направленности для антенн радиорелейных систем прямой видимости.

Прилагаемый документ 5 к Приложению 1: определение всех параметров.

3 Общие положения

3.1 Допущения

Определение характеристик распространения радиоволн для координационного расстояния земной станции основано на следующих допущениях:

- местоположение наземных станций, с которыми должна осуществляться координация, неизвестно;
- для геометрии трассы помех имеются только данные, относящиеся к земной станции;
- для геометрии остальной части трассы помех должны быть с осторожностью сделаны ограничительные допущения, приведенные ниже в тексте.

В настоящем Приложении явления распространения подразделяются на следующие два вида.

- *Вид (1)*: распространение в условиях ясного неба:
 - на которое воздействует кривизна поверхности Земли (дифракция, преломление, волноводное распространение и отражение/преломление в слое) и
 - тропосферное рассеяние. Эти явления ограничены распространением вдоль трассы по дуге большого круга.
- *Вид (2)*: рассеяние гидрометеорами, которое не ограничено трассой по дуге большого круга, а, как рассматривается в настоящем Приложении, ограничено земными станциями, работающими с геостационарными спутниками.

Для каждого азимута от земной станции и для каждого из двух вышеуказанных видов распространения необходимо определить расстояние, на котором потери при распространении становятся равными требуемому минимальному допустимым базовым потерям при передаче. Этим расстоянием (координационным расстоянием) будет большее из двух найденных расстояний.

В итерационном методе всегда можно использовать одинаковый шаг, и рекомендуемый размер шага составляет 1 км. Для распространения вида (1) функции, определяющие потери при распространении, монотонно изменяются с расстоянием, и при необходимости можно использовать более эффективную процедуру итераций.

3.2 Обзор моделей распространения

Для определения координационных расстояний при распространении вида (1) используемый диапазон частот разделили на три части:

- для частот ОВЧ/УВЧ между 100 МГц и 790 МГц модель основана на эмпирическом согласовании с данными измерений;
- в диапазоне от 790 МГц до 60 ГГц используется модель распространения, учитывающая тропосферное рассеяние, волноводное распространение и отражение/преломление в слое;
- в диапазоне от 60 ГГц до 105 ГГц используется миллиметровая модель, основанная на потерях в свободном пространстве и консервативной оценке поглощения газами с добавлением допуска на повышение уровня сигнала для малых процентов времени.

Диапазон входных параметров для каждого механизма модели для распространения вида (1) в целом является различным.

Для определения координационных расстояний при распространении вида (2) моделируется изотропное рассеяние от гидрометеоров в общем объеме, образованном основными лучами станций, которые могут создавать помехи. Для координации частот в случае частот ниже 1 ГГц и выше 40,5 ГГц можно пренебречь помехами, возникающими из-за рассеяния гидрометеорами. На частотах ниже 1 ГГц уровень рассеянного сигнала очень мал, а выше 40,5 ГГц, хотя и происходит существенное рассеяние, рассеянный сигнал затем сильно затухает на трассе от объема рассеяния до наземной станции.

Для распространения вида (1) расстояние увеличивают шагами от заданного минимума, который варьируется в зависимости от коэффициентов распространения для каждого частотного диапазона. Для распространения вида (2) расстояние уменьшают шагами от приведенного в таблице 2 максимума. Для вспомогательного вида (2) расстояние уменьшают шагами от координационного расстояния для основного вида (2), полученного для того же азимута.

Потери, обусловленные экранированием рельефом вокруг земной станции, следует рассчитывать по методу, описанному в пункте 1 Прилагаемого документа 2, в соответствии с углами места горизонта вдоль разных радиальных направлений от земной станции. Эти дополнительные потери необходимо учитывать для всех частот между 100 МГц и 105 ГГц.

4 Радиоклиматологическая информация

4.1 Радиоклиматологические данные

Для расчета координационного расстояния при распространении вида (1) земной шар разделили на радиоклиматические зоны (см. пункт 4.2) и выбрали радиометеорологический параметр β_p , который отражает относительную частоту возникновения условий аномального распространения при ясном небе.

Значение β_p зависит от широты. Для определения правильного значения β_p должна использоваться широта, задаваемая следующим выражением:

$$\zeta_r = \begin{cases} |\zeta| - 1,8 & \text{при } |\zeta| > 18^\circ; \\ 0 & \text{при } |\zeta| \leq 18^\circ, \end{cases} \quad (1a)$$

(1b)

где ζ – широта земной станции (градусы).

Затем определяют β_p следующим образом:

$$\beta_p = \begin{cases} 10^{1,67-0,015 \zeta_r} & \text{при } \zeta_r \leq 70^\circ; \\ 4,17 & \text{при } \zeta_r > 70^\circ. \end{cases} \quad (2a)$$

(2b)

Для частот между 790 МГц и 60 ГГц при расчетах для распространения вида (1) используется преломляющая способность поверхности на уровне моря в центре трассы N_0 . Ее можно рассчитать по следующей формуле:

$$N_0 = 330 + 62,6 e^{-\left(\frac{\zeta-2}{32,7}\right)^2}. \quad (3)$$

4.2 Радиоклиматические зоны

При расчете координационного расстояния для распространения вида (1) земной шар делится на четыре основные радиоклиматические зоны. Эти зоны определяются следующим образом:

- *Зона А1:* береговая полоса и прибрежные районы, то есть участки суши, прилегающие к Зоне В или Зоне С (см. ниже), высотой до 100 м относительно среднего уровня моря или воды, но ограниченные максимальным расстоянием 50 км от ближайшего участка Зоны В или Зоны С, в зависимости от конкретного случая; при отсутствии точной информации о контуре 100 м можно использовать приближенное значение (например, 300 футов);
- *Зона А2:* вся сухопутная территория, кроме береговой полосы и прибрежных районов, определенных выше как Зона А1;
- *Зона В:* "холодные" моря, океаны и крупные внутренние водоемы, расположенные на широтах выше 30°, за исключением Средиземного и Черного морей;
- *Зона С:* "теплые" моря, океаны и крупные внутренние водоемы, расположенные на широтах ниже 30°, а также Средиземное и Черное моря.

В моделях для разных частот требуются следующие параметры расстояния для зоны:

- d_{lm} (км): наибольшая протяженность непрерывного внутреннего участка суши, Зона А2, в пределах текущего расстояния рассматриваемой трассы;
- d_{tm} (км)ф: наибольшая протяженность непрерывного участка суши (то есть сумма внутреннего и прибрежного участков), Зона А1 + Зона А2, в пределах текущего расстояния рассматриваемой трассы.

При необходимости эти расстояния должны быть вновь оценены для всего расстояния трассы в пределах цикла итерации для моделей распространения.

Крупные внутренние водоемы

Крупные внутренние водоемы, которые считаются находящимися в Зоне В или Зоне С, в зависимости от конкретного случая, определяются для административных целей координации как водоемы площадью не менее 7800 км², исключая занимаемые реками площади. Острова, находящиеся в таких водоемах, должны включаться в расчеты этих участков как водное пространство, если более 90% их площади имеет отметку высоты ниже 100 м над средним уровнем поверхности воды. Острова, не удовлетворяющие этим критериям, при расчетах водных участков относят к суше.

Крупные внутренние озера или сильно увлажненные земли

Крупные внутренние участки площадью более 7800 км², которые включают много малых озер или речную сеть, администрации должны относить к прибрежной Зоне А1, если участок более чем на 50% состоит из воды и более 90% суши находится на высоте менее 100 м над средним уровнем поверхности воды.

Климатические районы, относящиеся к Зоне А1, крупные внутренние водоемы, а также крупные внутренние озера и сильно увлажненные земли трудно определить однозначно. Поэтому администрациям предлагается зарегистрировать в Бюро радиосвязи МСЭ (БР) районы в границах своей территории, которые они хотят определять как относящиеся к одной из этих категорий. Иначе, при отсутствии зарегистрированной информации, все участки суши будут считаться входящими в климатическую Зону А2.

4.3 Использование радиоклиматологической информации из других Рекомендаций

В ряде пунктов, посвященных расчетам для распространения вида (1) и вида (2), приведены ссылки на радиоклиматологическую информацию, получаемую из других Рекомендаций МСЭ-R. К ним относятся:

- a) Рекомендация МСЭ-R P.836 для плотности водяных паров;
- b) Рекомендация МСЭ-R P.837 для интенсивности дождя;
- c) Рекомендация МСЭ-R P.839 для высоты дождя.

Ссылки на эти Рекомендации даются в том случае, когда необходимо получить радиоклиматологический параметр для конкретного места, задаваемого широтой и долготой. В других частях расчетов для распространения вида (1) и вида (2) используются постоянные значения некоторых радиоклиматологических параметров. В этом случае не требуются ссылки на другие Рекомендации.

5 Пределы расстояний

5.1 Пределы минимального расстояния

Координационное расстояние в любом заданном направлении определяется рядом указанных выше факторов, и на основании только факторов распространения это расстояние может простираться от находящегося в относительной близости от земной станции до многих сотен километров. Однако из практических соображений, а также для учета допущений, которые должны быть сделаны относительно трассы распространения радиоволн, необходимо установить нижние пределы для координационного расстояния (d_{\min}), рассчитываемые следующим образом.

В качестве предварительного шага рассчитывается минимальное координационное расстояние как функция частоты f (ГГц) до 40 ГГц с помощью следующего уравнения:

$$d'_{\min}(f) = 100 + \frac{(\beta_p - f)}{2} \quad \text{км.} \quad (4)$$

Затем рассчитывается минимальное координационное расстояние на любой частоте в диапазоне от 100 МГц до 105 ГГц следующим образом:

$$d_{\min}(f) = \begin{cases} d'_{\min}(f) & \text{км} & \text{при} & f < 40 \text{ ГГц;} & (5a) \\ \frac{(54-f)d'_{\min}(40) + 10(f-40)}{14} & \text{км} & \text{при} & 40 \text{ ГГц} \leq f < 54 \text{ ГГц;} & (5b) \\ 10 & \text{км} & \text{при} & 54 \text{ ГГц} \leq f < 66 \text{ ГГц;} & (5c) \\ \frac{10(75-f) + 45(f-66)}{9} & \text{км} & \text{при} & 66 \text{ ГГц} \leq f < 75 \text{ ГГц;} & (5d) \\ 45 & \text{км} & \text{при} & 75 \text{ ГГц} \leq f < 90 \text{ ГГц;} & (5e) \\ 45 - \frac{(f-90)}{1,5} & \text{км} & \text{при} & 90 \text{ ГГц} \leq f \leq 105 \text{ ГГц.} & (5f) \end{cases}$$

Следует отметить, что в уравнении (5b) $d'_{\min}(40)$ оценивают с помощью уравнения (4) при $f = 40$.

Минимальное расстояние относится одновременно к распространению вида (1) и к распространению вида (2); на всех частотах используется минимальное расстояние 55 км.

5.2 Пределы максимального расстояния

Необходимо также установить верхние пределы ($d_{\max1}$ и $d_{\max2}$) для максимального расстояния, используемого в итерационных расчетах соответственно для распространения вида (1) и вида (2). Предел максимального расчетного расстояния для распространения вида (1) ($d_{\max1}$) определяется следующим уравнением:

$$d_{\max1} = \begin{cases} 1200 & \text{км} & \text{при} & f \leq 60 \text{ ГГц;} & (6a) \\ 80 - 10 \log\left(\frac{P_1}{50}\right) & \text{км} & \text{при} & f > 60 \text{ ГГц.} & (6b) \end{cases}$$

Пределы максимального расчетного расстояния для распространения вида (2) ($d_{\max2}$) приведены в таблице 2.

5.3 Использование пределов расстояний для итерационных расчетов

Для расчетов для распространения вида (1) расстояние увеличивают шагами от предела минимального расстояния, но не продолжают процесс выше предела максимального расстояния. Для расчетов для распространения вида (2) расстояние уменьшают шагами от предела максимального расстояния (или от основного контура в случае распространения вспомогательного вида (2)), но не продолжают процесс за расстояния ниже минимального.

6 Определение координационного расстояния для распространения вида (1) – механизмы распространения по дуге большого круга

6.1 Координационные расстояния на основе процентов времени для худшего месяца

Расчет координационного расстояния основан на уровне помех, который не должен превышать в течение процента времени больше заданного среднегодового процента времени p_1 . В случаях когда координация должна основываться на проценте времени для худшего месяца, p_{w1} , эквивалентный процент времени в год p_1 , требующийся при этом методе, можно определить следующим образом.

Пусть

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{11 + |\cos 2\zeta_r|^{0,7}} & \text{при} & \zeta_r \leq 45^\circ; & (7a) \\ \sqrt{11 - |\cos 2\zeta_r|^{0,7}} & \text{при} & \zeta_r > 45^\circ, & (7b) \end{cases}$$

тогда

$$p_1 = 10^{\frac{\log(p_{w1}) + \log(G_L) - 0,444}{0,816}}, \quad (8)$$

где p_1 (%) – среднегодовой процент времени для распространения вида (1).

При необходимости значение p_1 должно быть ограничено так, чтобы $12p_1 \geq p_{w1}$.

6.2 Расчет координационного расстояния для распространения вида (1)

Для определения координационных расстояний при распространении вида (1) следует использовать следующие методы:

- для частот между 100 МГц и 790 МГц – метод, описанный в пункте 2 Дополнения 2;
- для частот между 790 МГц и 60 ГГц – метод, описанный в пункте 3 Дополнения 2;
- для частот между 60 ГГц и 105 ГГц – метод, описанный в пункте 4 Дополнения 2.

7 Определение координационного расстояния для распространения вида (2) – рассеяние гидрометеорами

7.1 Общие положения

Для определения координационного контура в случае рассеяния гидрометеорами (например, рассеяния в дожде) при прогнозировании используется геометрия трассы, которая существенно отличается от механизмов распространения по дуге большого круга. В первом приближении рассеяние энергии дождем происходит изотропно, поэтому помехи могут возникать для больших углов рассеяния и для пересечений лучей не на трассе распространения по дуге большого круга.

Для распространения этого вида не используется приведенное выше разделение поверхности Земли на сухопутные, прибрежные и морские зоны.

7.2 Координационные расстояния на основе процентов времени для худшего месяца

Расчет координационного расстояния основан на уровне помех, который не должен превышать в течение процента времени больше заданного среднегодового процента времени p_2 . В случаях когда координация должна основываться на проценте времени для худшего месяца p_{w2} , эквивалентный процент времени в год p_2 , требующийся при этом методе, можно определить следующим образом:

$$p_2 = 0,30(p_{w2})^{1,15}, \quad (9)$$

где

$$1,9 \times 10^{-4} < p_{w2} < 7,8.$$

7.3 Расчет контуров для распространения вида (2)

Для распространения вида (2) координационные расстояния следует рассчитывать с использованием метода, описанного в Дополнении 3. Такой расчет требуется только в диапазоне частот от 1 ГГц до 40,5 ГГц. За пределами этого диапазона частот помехами за счет рассеяния в дожде можно пренебречь, и координационное расстояние для распространения вида (2) совпадает с минимальным координационным расстоянием, определяемым по уравнению (5).

8 Вспомогательные контуры

8.1 Общие положения

Координационные контуры основываются на допущениях худшего случая в отношении помех. Такие допущения не обязательно применяются на практике, и при некоторых условиях вспомогательные контуры можно определять, чтобы исключить из дальнейшего рассмотрения наземные станции.

В случае распространения вида (1) для получения вспомогательных контуров не требуется никакой дополнительной информации о распространении. В случае распространения вида (2) вспомогательные контуры строятся для различных значений угла избежания пересечения луча a , причем этот угол соответствует отклонению азимутального угла оси основного луча (главного лепестка) наземной станции от направления на земную станцию. При этом требуется учесть дополнительные соображения относительно распространения, которые рассматриваются в пункте 8.2.

8.2 Рассеяние гидрометеорами (распространение вида (2))

Координационный контур для распространения вида (2) вокруг земной станции рассчитывают в предположении геометрии худшего случая, то есть два главных лепестка антенн пересекаются точно в плоскости большого круга, включающей обе станции. Это приводит к большой координационной зоне, в пределах которой нужно производить подробные расчеты уровней помех за счет рассеяния гидрометеорами. На практике распространение вида (2) с гораздо большей вероятностью возникает вне плоскости большого круга, чем в этой плоскости, и, кроме того, маловероятно, что главные лепестки эти антенн точно пересекутся. В любом случае можно построить вспомогательные контуры, которые по площади меньше координационной зоны. Вспомогательные контуры для распространения вида (2), которые учитывают азимутальное отклонение ϕ луча антенны наземной станции от направления на земную станцию, следует рассчитывать по методу, описанному в пункте 4 Прилагаемого документа 3. Любую станцию, которая находится за пределами соответствующего контура за счет своего угла избежания пересечения луча, не нужно рассматривать как существенный источник помех.

Минимальное координационное расстояние для распространения вида (2) совпадает с расстоянием для распространения вида (1), то есть равно d_{\min} . Следует подготовить вспомогательные контуры для распространения вида (2) для углов избежания пересечения луча 2° , 5° , 10° , 20° и 30° , а также в соответствующих случаях для дополнительных углов. Важно приложить все усилия, чтобы использовать реальную диаграмму направленности антенны при определении вспомогательных контуров, однако при отсутствии таких данных можно использовать эталонную диаграмму направленности антенны, приведенную в Прилагаемом документе 4.

Прилагаемый документ 1 к Приложению 1

ТАБЛИЦА 1

Входные параметры

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
d_c	км	Расстояние от земной станции до побережья в рассматриваемом направлении, используемое при расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (24)	Входной
d_h	км	Расстояние до радиогоризонта, если смотреть из центра антенны земной станции	Пункт 1 Прилагаемого документа 2	Входной или производный
d_{lm}	км	Наибольшая протяженность непрерывного внутреннего участка суши, Зона А2, в пределах расстояния d_i , используемая при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Пункт 4.2 Приложения 1	Входной
d_{tm}	км	Наибольшая протяженность непрерывного участка суши (то есть сумма внутреннего и прибрежного участков), Зона А1 + Зона А2, в пределах расстояния d_i , используемая при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Пункт 4.2 Приложения 1	Входной
f	ГГц	Частота от 100 МГц до 105 ГГц	–	Входной
G_T	дБ	Усиление антенны наземной станции, принятое равным 42 дБ и используемое при расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (57)	Входной
h_R	км	Эффективная высота дождя над уровнем земли	Прилагаемый документ 3	Входной
$L_b(p_1)$	дБ	Минимальные допустимые базовые потери при передаче, требуемые для $p_1\%$ времени для распространения вида (1)	Пункт 1	Входной
$L_b(p_2)$	дБ	Минимальные допустимые базовые потери при передаче, требуемые для $p_2\%$ времени для распространения вида (2)	Пункт 1	Входной
p_1	%	Среднегодовой процент времени для распространения вида (1) при p_1 в пределах: от 1 до 50% для f между 100 МГц и 790 МГц, от 0,001 до 50% для f между 790 МГц и 105 ГГц	Уравнение (8)	Входной или производный
p_{w1}	%	Процент времени для худшего месяца для распространения вида (1)	Пункт 6.1	Входной
p_2	%	Среднегодовой процент времени для распространения вида (2) от 0,001 до 10%	Уравнение (9)	Входной или производный
p_{w2}	%	Процент времени для худшего месяца для распространения вида (2)	Пункт 7.2	Входной
r_E	км	Эффективный радиус Земли (= 8500 км)	Прилагаемый документ 3	Входной
$R(p_2)$	мм/час	Интенсивность дождя на поверхности, превышаемая в среднем в течение $p_2\%$ в год, которая используется при расчетах для распространения вида (2)	Прилагаемый документ 3	Входной
s	км	Шаг увеличения расстояния, используемый при итерационном расчете координационного расстояния (рекомендуемое значение равно 1 км)	Пункт 1	Входной

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
ε	Градусы	Угол места главного лепестка антенны земной станции	Пункт 3 Прилагаемого документа 3	Входной
φ	Градусы	Угловое отклонение от оси главного лепестка антенны	Пункт 4.1 Прилагаемого документа 3	Входной
γ_p	дБ/км	Удельное (погонное) затухание в дожде	Прилагаемый документ 3	Входной
θ_h	Градусы	Угол места горизонта земной станции	Пункт 1 Прилагаемого документа 2	Входной
ρ	г/м ³	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени	Уравнения (21) и (56)	Входной
ρ_0	г/м ³	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени на земной станции	Уравнение (22b)	Входной
ρ_{dmin}	г/м ³	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени при d_{min} для соответствующего азимута	Уравнение (22b)	Входной
ρ_i	г/м ³	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени для каждого шага итерации для распространения вида (1)	Уравнение (32)	Входной
ω	Градусы	Полярный угол наземной станции относительно центра общего объема, используемый при расчете вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Пункт 4 Прилагаемого документа 3	Входной
ζ	Градусы	Широта земной станции (северная широта – положительная, южная широта – отрицательная)	Уравнения (1a) и (1b)	Входной

Прилагаемый документ 2 к Приложению 1

Расчет координационного расстояния для распространения вида (1)

1 Экранирование местностью

При распространении вида (1) некоторое экранирование земной станции (экранирование местностью) может возникать за счет рельефа местности вокруг земной станции. В модели для распространения вида (1) для учета этого используется множитель A_h . Дополнительные потери за счет экранирования местностью вблизи земной станции для каждого радиального направления рассчитывают следующим образом.

Расстояние до радиогоризонта d_h , если смотреть из центра антенны земной станции, определяется следующим соотношением:

$$d_h = \begin{cases} 0,5 \text{ км,} & \text{если нет информации о расстоянии до горизонта или если} \\ & \text{расстояние} < 0,5 \text{ км;} \\ \text{расстояние до} & \text{если оно находится в пределах } 0,5 \text{ км} \leq \text{расстояние до горизонта} \\ \text{горизонта (км),} & \leq 5,0 \text{ км;} \\ 5,0 \text{ км,} & \text{если расстояние до горизонта} > 5,0 \text{ км.} \end{cases}$$

Рассчитывается угол места горизонта θ_h (градусы). Здесь он определяется как угол (если смотреть из центра антенны земной станции) между горизонтальной плоскостью и лучом, который касается физического горизонта в рассматриваемом направлении. Значение θ_h является положительным, когда физический горизонт находится выше горизонтальной плоскости. Угол места горизонта необходимо определять для всех азимутов вокруг земной станции. На практике это обычно достаточно сделать для приращений азимута на 5° . Однако следует приложить все усилия для определения и учета минимальных углов места горизонта, которые могут находиться между измеряемыми значениями азимута с приращением 5° .

Затем рассчитывается поправка для расстояния до горизонта A_d (дБ) вдоль каждого азимута от земной станции с помощью следующего уравнения:

$$A_d = 15 \left[1 - \exp\left(\frac{0,5 - d_h}{5}\right) \right] \left[1 - \exp\left(-\theta_h f^{1/3}\right) \right] \quad \text{дБ.} \quad (10)$$

Общие потери за счет экранирования рельефом по каждому азимуту от земной станции определяются как

$$A_h = \begin{cases} 20 \log\left(1 + 4,5\theta_h f^{1/2}\right) + \theta_h f^{1/3} + A_d & \text{дБ} & \text{при} & \theta_h \geq 0^\circ; & (11a) \\ 3 \left[(f + 1)^{1/2} - 0,0001f - 1,0487 \right] \theta_h & \text{дБ} & \text{при} & 0^\circ > \theta_h \geq -0,5^\circ; & (11b) \\ -1,5 \left[(f + 1)^{1/2} - 0,0001f - 1,0487 \right] & \text{дБ} & \text{при} & \theta_h < -0,5^\circ. & (11c) \end{cases}$$

Значение A_h должно быть ограничено так, чтобы выполнялись условия

$$A_h \leq (30 + \theta_h) \quad (12)$$

и

$$A_h \geq -10.$$

Следует отметить, что в уравнениях (10), (11) и (12) величина θ_h должна быть всегда выражена в градусах. Следует также отметить, что пределы, указанные в уравнении (12), заданы потому, что защиту вне этих пределов невозможно реализовать на практике.

2 Частоты от 100 МГц до 790 МГц включительно

Приведенная в этом пункте модель распространения ограничена среднегодовым процентом времени p_1 в интервале от 1 до 50%.

Должен использоваться итерационный процесс, описанный в пункте 1 Приложения 1. Осуществляется расчет по уравнению (14), а затем, начиная с минимального координационного расстояния d_{\min} , определяемого по методу, описанному в пункте 5.1, рассчитывают итерационным способом уравнения (15)–(18) для расстояний d_i , где $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д., с подходящим шагом приращения. При каждой итерации d_i считается текущим расстоянием. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполнено любое из следующих условий:

$$L_2(p_1) \geq L_1(p_1) \quad (13a)$$

или

$$d_i \geq d_{\max 1}. \quad (13b)$$

Требуемое координационное расстояние d_1 определяется затем текущим расстоянием для последней итерации.

Рекомендуемый шаг увеличения расстояния s (км) составляет 1 км. Уравнения (16), (17a) и (17b) подходят только для трасс, которые полностью относятся к одной категории. Если трасса включает участки, находящиеся в более чем в одной зоне (суша и/или "холодное" море и/или "теплое" море, см. пункт 4.2), координационное расстояние можно найти путем интерполяции результатов расчетов в предположении, что трасса является полностью сухопутной и полностью морской. Если морская трасса включает участки зоны теплого моря, то все морские участки вдоль этой трассы следует считать относящимися к зоне теплого моря:

$$L_1(p_1) = L_b(p_1) - A_h, \quad (14)$$

где $L_b(p_1)$ (дБ) – минимальные допустимые базовые потери при передаче, требуемые для $p_1\%$ времени.

Итерационные расчеты

В начале каждой итерации рассчитывается текущее расстояние для $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д.:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s. \quad (15)$$

Потери $L_{bl}(p_1)$ и $L_{bs}(p_1)$ в предположении, что трасса полностью сухопутная (Зона А1 или А2) либо полностью проходит над холодным морем (Зона В) или теплым морем (Зона С) соответственно, можно с успехом оценить с помощью следующего выражения:

$$L_{bl}(p_1) = 1428 + 20 \log f + 10 \log p_1 + 0,1 d_i \quad \begin{array}{l} \text{для трасс, полностью} \\ \text{находящихся в Зоне А1} \\ \text{или А2;} \end{array} \quad (16)$$

$$L_{bs}(p_1) = \left\{ \begin{array}{l} 49,91 \log(d_i + 1840f^{4,76}) + 1,195f^{0,393}(\log p_1)^{1,38} d_i^{0,597} + \\ + (0,01 d_i - 70)(f - 0,1581) + (0,02 - 2 \times 10^{-5} p_1^2) d_i + 9,72 \times 10^{-9} d_i^2 p_1^2 + \\ + 20,2 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{для трасс, полностью} \\ \text{находящихся} \\ \text{в Зоне В;} \end{array} \quad (17a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 49,343 \log(d_i + 1840f^{1,58}) + 1,266 (\log p_1)^{(0,468 + 2,598f)} d_i^{0,453} + \\ + (0,037 d_i - 70)(f - 0,1581) + 1,95 \times 10^{-10} d_i^2 p_1^3 + 20,2 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{для трасс, полностью} \\ \text{находящихся} \\ \text{в Зоне С.} \end{array} \quad (17b)$$

Базовые потери при передаче для текущего расстояния определяются из следующего выражения:

$$L_2(p_1) = L_{bs}(p_1) + \left[1 - \exp \left(-5,5 \left(\frac{d_{tm}}{d_i} \right)^{1,1} \right) \right] (L_{bl}(p_1) - L_{bs}(p_1)), \quad (18)$$

где d_{tm} определено в пункте 4.2 Приложения 1.

3 Частоты между 790 МГц и 60 ГГц

Приведенная в этом пункте модель распространения ограничена среднегодовым процентом времени (p_1) в интервале от 0,001 до 50%.

Должен использоваться итерационный процесс, описанный в пункте 1 Приложения 1. Сначала осуществляются расчеты по уравнениям (20)–(30), а затем, начиная с минимального координационного расстояния d_{\min} , определяемого по методу, описанному в пункте 5.1, рассчитываются итерационным способом уравнения (31)–(41) для расстояний d_i , где $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д., с подходящим шагом приращения. При каждой итерации d_i считается текущим расстоянием. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполнено любое из следующих условий:

$$(L_5(p_1) \geq L_3(p_1))$$

и

$$(L_6(p_1) \geq L_4(p_1)) \quad (19a)$$

или

$$d_i \geq d_{\max 1}, \quad (19b)$$

Требуемое координационное расстояние d_1 определяется затем текущим расстоянием для последней итерации.

Рекомендуемый шаг увеличения расстояния s (км) составляет 1 км.

Рассчитывается удельное затухание (дБ/км) в сухом воздухе:

$$\gamma_o = \begin{cases} \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] f^2 \times 10^{-3} & \text{при } f \leq 56,77; \\ 10 & \text{при } f > 56,77. \end{cases} \quad (20a)$$

$$(20b)$$

Удельное затухание в водяных парах определяется как функция ρ , при плотности водяных паров, выраженной в г/м^3 , следующим уравнением:

$$\gamma_w(\rho) = \left(0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right) f^2 \rho \times 10^{-4}. \quad (21)$$

Рассчитывается удельное затухание (дБ/км) в водяных парах для модели тропосферного рассеяния с использованием величины плотности водяных паров $3,0 \text{ г/м}^3$:

$$\gamma_{wt} = \gamma_w(3,0). \quad (22a)$$

Из Рекомендации МСЭ-R P.836 берется медианная плотность водяных паров ρ_0 на земной станции и ρ_{dmin} на расстоянии d_{min} по соответствующему азимуту.

Рассчитывается затухание в водяных парах для части трассы, лежащей в пределах минимального расстояния, с помощью выражения:

$$A_w = d_{min} \cdot \gamma_w \left(\frac{\rho_0 + \rho_{dmin}}{2} \right), \quad (22b)$$

где ρ_0 и ρ_{dmin} определены в Прилагаемом документе 1 к Приложению 1.

Рассчитывается зависящее от частоты удельное затухание при волноводном распространении (дБ/км):

$$\gamma_d = 0,05 f^{1/3}. \quad (23)$$

Для модели волноводного распространения

Рассчитывается поправка для прямой связи в волноводах над поверхностью моря (дБ):

$$A_c = \frac{-6}{(1 + d_c)}, \quad (24)$$

где d_c (км) – расстояние от расположенной на суше земной станции до побережья в рассматриваемом направлении.

В других обстоятельствах d_c равно нулю.

Рассчитывается не зависящая от расстояния составляющая потерь (дБ):

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \log f + A_h + A_c + A_w. \quad (25)$$

Рассчитывается минимальное требуемое значение зависящих от расстояния потерь (дБ):

$$L_3(p_1) = L_b(p_1) - A_1. \quad (26)$$

Вводится коэффициент, регулирующий допуск на дополнительные зависящие от расстояния и другие потери, включая потери, связанные с высотой рельефа:

$$\varepsilon_L = 8,5. \quad (27)$$

Для модели тропосферного рассеяния

Рассчитывается зависящая от частоты составляющая потерь (дБ):

$$L_f = 25 \log(f) - 2,5 \left[\log\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2. \quad (28)$$

Рассчитывается не зависящая от расстояния составляющая потерь (дБ):

$$A_2 = 187,36 + 10 \theta_h + L_f - 0,15 N_0 - 10,1 \left(-\log\left(\frac{P_1}{50}\right) \right)^{0,7}, \quad (29)$$

где

θ_h : угол места горизонта земной станции (градусы);

N_0 : преломляющая способность поверхности моря на уровне моря в центре трассы.

Рассчитывается минимальное требуемое значение зависящих от расстояния потерь (дБ):

$$L_4(p_1) = L_b(p_1) - A_2. \quad (30)$$

Итерационные расчеты

В начале каждой итерации рассчитывается текущее расстояние для $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д.:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s. \quad (31)$$

Для положения на поверхности Земли на расстоянии d_i по соответствующему азимуту из Рекомендации МСЭ-R P.836 берется значение плотности водяных паров, превышаемое в течение 50% времени, ρ_i (г/м³). Затем рассчитывается зависящее от расстояния затухание, вызываемое поглощением газами, с использованием следующего выражения:

$$A_g = (\gamma_o + \gamma_d) \cdot d_i + \sum_{n=0}^i \gamma_w(\rho_n) \cdot s, \quad (32)$$

где $\gamma_w(\rho_n)$ определяется уравнением (21).

Рассчитываются следующие зависящие от зоны параметры:

$$\tau = 1 - \exp \left[- \left(4,12 \times 10^{-4} d_{im}^{2,41} \right) \right], \quad (33)$$

где d_{im} определено в пункте 4.2 Приложения 1.

$$\mu_1 = \left[10^{\frac{-d_{im}}{16 - 6,6\tau}} + \left[10^{-(0,496 + 0,354\tau)} \right]^5 \right]^{0,2}, \quad (34)$$

где d_{im} определено в пункте 4.2 Приложения 1.

μ_1 должно быть ограничено значением $\mu_1 \leq 1$.

$$\sigma = -0,6 - \varepsilon_L \times 10^{-9} d_i^{3,1} \tau. \quad (35)$$

σ должно быть ограничено значением $\sigma \geq -3,4$.

$$\mu_2 = \left(2,48 \times 10^{-4} d_i^2 \right)^\sigma. \quad (36)$$

μ_2 должно быть ограничено значением $\mu_2 \leq 1$.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,017\zeta_r) \log \mu_1} & \text{при } \zeta_r \leq 70^\circ; \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{при } \zeta_r > 70^\circ. \end{cases} \quad (37a)$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,017\zeta_r) \log \mu_1} & \text{при } \zeta_r \leq 70^\circ; \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{при } \zeta_r > 70^\circ. \end{cases} \quad (37b)$$

Рассчитывается зависящий от трассы наклон волновода β и связанный с ним параметр Γ , используемые для расчета временной зависимости базовых потерь при передаче:

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4; \quad (38)$$

$$\Gamma = \frac{1,076}{(2,0058 - \log \beta)^{1,012}} \exp \left[- \left(9,51 - 4,8 \log \beta + 0,198 (\log \beta)^2 \right) \times 10^{-6} d_i^{1,13} \right]. \quad (39)$$

Рассчитывается зависящая от расстояния составляющая потерь (дБ) для волноводного распространения:

$$L_5(p_1) = A_g + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) \log \left(\frac{p_1}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p_1}{\beta} \right)^\Gamma \quad (40)$$

и для тропосферного рассеяния:

$$L_6(p_1) = 20 \log (d_i) + 5,73 \times 10^{-4} (112 - 15 \cos (2\zeta)) d_i + (\gamma_o + \gamma_w) d_i. \quad (41)$$

4 Частоты между 60 ГГц и 105 ГГц

В миллиметровом диапазоне в полосах частот от 60 ГГц до 105 ГГц модель распространения основывается на потерях в свободном пространстве и консервативной оценке поглощения газами с добавлением допуска на повышение уровня сигнала для малых процентов времени. Эта модель распространения подходит для процента времени в год p_1 в интервале от 0,001 до 50%.

Должен использоваться итерационный процесс, описанный в пункте 1 Приложения 1. Сначала осуществляются расчеты по уравнениям (43)–(47), а затем, начиная с минимального координационного расстояния d_{\min} , определяемого с помощью метода, описанного в пункте 5.1, рассчитываются итерационным способом уравнения (48) и (49) для расстояний d_i , где $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д., с подходящим шагом приращения. При каждой итерации d_i считается текущим значением.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполнено любое из приведенных ниже условий:

$$L_9(p_1) \geq L_8(p_1) \quad (42a)$$

или

$$d_i \geq d_{\max 1}. \quad (42b)$$

Требуемое координационное расстояние d_1 определяется затем текущим расстоянием для последней итерации.

Рекомендуемый шаг увеличения расстояния s (км) составляет 1 км.

Рассчитывается удельное поглощение (дБ/км) для сухого воздуха в диапазоне частот 60–105 ГГц с использованием выражения:

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[2 \times 10^{-4} (1 - 1,2 \times 10^{-5} f^{1,5}) + \frac{4}{(f - 63)^2 + 0,936} + \frac{0,28}{(f - 118,75)^2 + 1,771} \right] f^{2,24} \times 10^{-4} & \text{при } f > 63,26 \text{ ГГц;} \\ 10 \text{ дБ/км} & \text{при } f \leq 63,26 \text{ ГГц.} \end{cases} \quad (43a)$$

$$\quad (43b)$$

Рассчитывается удельное поглощение в водяных парах (дБ/км) для содержания водяных паров в атмосфере 3 г/м^3 с помощью формулы:

$$\gamma_{wm} = (0,039 + 7,7 \times 10^{-4} f^{0,5}) f^2 2,369 \times 10^{-4}. \quad (44)$$

Рассчитывается консервативная оценка удельного поглощения газами по уравнению:

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{wm} \quad \text{дБ/км.} \quad (45)$$

Для требуемой частоты и величины экранирования местностью земной станции A_h (дБ), рассчитанной с использованием метода, описанного в пункте 1 настоящего Дополнения, рассчитывается не зависящая от расстояния составляющая базовых потерь при передаче по формуле:

$$L_7 = 92,5 + 20 \log(f) + A_h \quad \text{дБ.} \quad (46)$$

Рассчитывается минимальное требуемое значение зависящих от расстояния потерь (дБ):

$$L_8(p_1) = L_b(p_1) - L_7 \quad \text{дБ.} \quad (47)$$

Итерационные расчеты

В начале каждой итерации рассчитывается текущее расстояние для $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д.:

$$d_i = d_{\min} + i \cdot s. \quad (48)$$

Рассчитываются зависящие от расстояния потери для текущего расстояния:

$$L_9(p_1) = \gamma_{gm} d_i + 20 \log(d_i) + 2,6 \left[1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p_1}{50}\right). \quad (49)$$

Прилагаемый документ 3 к Приложению 1

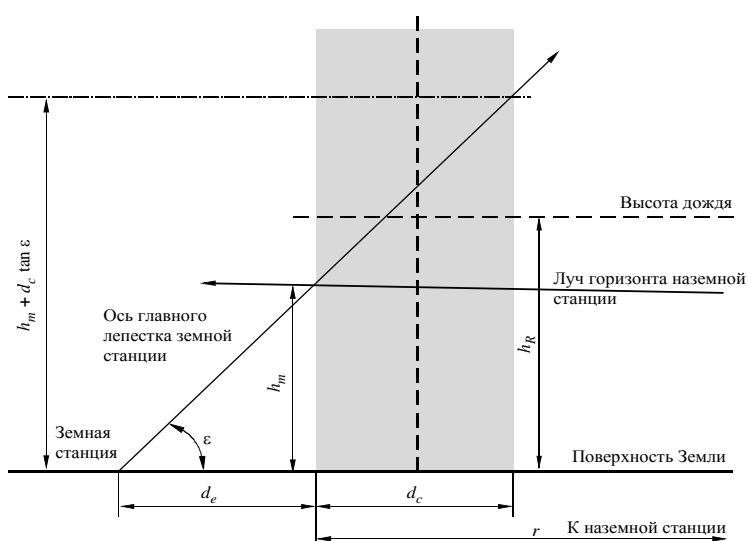
Расчет координационного расстояния для распространения вида (2)

1 Обзор

Методика определения координационного расстояния для помех вследствие рассеяния в дожде при распространении вида (2) основана на уравнении для радиолокатора с разнесенными антеннами, с так называемой "узколучевой" аппроксимацией для антенны земной станции, в котором потери на расхождение лучей от объема рассеяния до антенны земной станции компенсируются усилением антенны. Поэтому такой метод, в первую очередь, зависит от длины трассы от наземной станции до объема рассеяния, то есть до очага дождя.

Приведенный ниже алгоритм позволяет получить потери при передаче $L_r(p_2)$ (дБ) как функцию интенсивности дождя $R(p_2)$ (мм/час) и с расстоянием разнесения между краем очага дождя и возможным местоположением наземной станции r_i (км) в качестве параметра. Геометрия процесса рассеяния в дожде показана на рисунке 1.

РИСУНОК 1
Геометрия процесса рассеяния в дожде



P.0620-01

Процедура определения контура рассеяния гидрометеорами состоит в следующем.

Значение $R(p_2)$ определяется из Рекомендации МСЭ-R P.837 для требуемого среднегодового процента времени p_2 (0,001–10%) и для широты и долготы соответствующей земной станции.

Затем рассчитываются значения $L_r(p_2)$ для уменьшающихся шагами значений r_i , начиная с максимального расчетного расстояния $d_{\max 2}$ для распространения вида (2), приведенного в таблице 2. Рекомендуемый шаг уменьшения расстояния s (км) составляет 1 км. Значение r_i уменьшают шагами до тех пор, пока соответствующее значение $L_r(p_2)$ не станет меньше требуемых потерь при передаче $L_b(p_2)$. Таким образом, следует уменьшать r_i шагами, пока не будет выполнено одно из следующих условий:

$$L_r(p_2) < L_b(p_2) \quad (50a)$$

или

$$r_i < d_{\min}, \quad (50b)$$

где последнее условие соответствует минимальному расчетному расстоянию.

Расчетное расстояние d_r определяется затем предыдущим значением r_i :

$$d_r = r_{i-1} = d_{\max 2} - s \cdot (i - 1). \quad (51)$$

Результирующее расчетное расстояние d_r представляет собой длину трассы между наземной станцией и краем очага дождя, которая обеспечивает требуемые потери на трассе при передаче. Если допустить, что рассеяние от очага дождя изотропно по азимуту, то координационный контур определяется как окружность радиусом d_r и центром на краю очага дождя.

Затем координационный контур строится в виде окружности радиусом d_r с центром на расстоянии d_e от земной станции в азимутальном направлении, где d_e – расстояние от земной станции до края очага дождя, как показано на рисунке 1; а определение расстояния d_e осуществляется с помощью приведенной ниже процедуры.

2 Максимальное расчетное расстояние

Как было описано в пункте 5.2 Приложения 1, необходимо установить верхние пределы максимального расстояния, используемого при итерационном определении расчетного расстояния, с которого начинаются итерационные расчеты. Максимальное расчетное расстояние, которое должно использоваться для распространения вида (2) ($d_{\max 2}$), зависит от широты и приведено в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Максимальные расчетные расстояния ($d_{\max 2}$) (км) для распространения вида (2)

Широта (градусы)	0–30	30–40	40–50	50–60	> 60
Расстояние (км)	350	360	340	310	280

3 Расчет координационного контура для распространения вида (2)

Из Рекомендации МСЭ-R P.837-3 определяется интенсивность дождя, превышаемая в течение $p_2\%$ времени, $R(p_2)$, для широты и долготы земной станции. Следует отметить, что $p_2\%$ – это среднегодовой процент времени, применимый для распространения вида (2).

Если интенсивность дождя, превышаемая в течение $p_2\%$ времени, $R(p_2) \leq 0,1$ мм/час, то координационный контур для распространения вида (2) необходимо определять в предположении, что интенсивность дождя равна 0,1 мм/час.

Следует также отметить, что интенсивность дождя и высота дождя между местоположением земной станции и очагом дождя в азимутальном направлении от земной станции существенно не меняется, поскольку расстояние между этими двумя точками обычно меньше ~30 км при углах места земных станций до 10° .

С помощью Рекомендации МСЭ-R P.838 определяется удельное затухание γ_R (дБ/км) в дожде в предположении вертикальной поляризации.

Диаметр очага дождя d_c (км) устанавливается равным:

$$d_c = 3,3R(p_2)^{-0,08}. \quad (52)$$

Из Рекомендации МСЭ-R P.839 определяется средняя высота дождя над уровнем земли h_R (км) для широты и долготы земной станции.

Рассчитывается промежуточный параметр η :

$$\eta = (R(p_2) + 1)^{0,19}. \quad (53)$$

Рассчитывается расстояние нормирования r_m (км) для затухания за пределами общего объема рассеяния:

$$r_m = 600R(p_2)^{-0,5} \times 10^{-\eta}. \quad (54)$$

Удельное затухание в сухом воздухе (дБ/км) оценивают с помощью следующего выражения:

$$\gamma_o = \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,5} \right] f^2 \times 10^{-3}. \quad (55)$$

Из Рекомендации МСЭ-R P.836 определяется плотность водяных паров на поверхности ρ (г/м³), превышаемая в течение 50% времени на долготе и широте, соответствующей земной станции. Следует отметить, что для упрощения определения контуров для распространения вида (2) плотность водяных паров предполагается постоянной на всей трассе. Тогда удельное затухание в водяных парах определяется в дБ/км следующим выражением:

$$\gamma_{wv} = \left[0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right] f^2 \rho \times 10^{-4}. \quad (56)$$

Задается усиление антенны наземной станции (принимаемое равным 42 дБи):

$$G_T = 42. \quad (57)$$

Итерационные расчеты

Начиная с максимального расчетного расстояния, приведенного в таблице 2, рассчитываются уравнения с (58) по (77) включительно для уменьшающихся значений r_i , где r_i – текущее расстояние разнесения (км) между очагом дождя и возможным местоположением наземной станции для $i = 0, 1, 2, \dots$ и т. д.:

$$r_i = d_{\max 2} - i \cdot s. \quad (58)$$

Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие, заданное неравенством (50). В этой точке расчетное расстояние для рассеяния в дожде d_r имеет предыдущее значение r_i , то есть

$$d_r = d_{\max 2} - (i - 1) \cdot s. \quad (59)$$

Если при итерациях получится $d_r < d_{\min}$, то полагают $d_r = d_{\min}$, и итерации заканчивается, отмечая, что для распространения вида (2) $d_{\min} = 55$ км.

Определяется высота над уровнем земли для точки пересечения лучей антенн наземной и земной станций:

$$h_m = r_E \left(\frac{1}{\cos \delta} - 1 \right), \quad (60)$$

где

δ – угловое разнесение между очагом дождя и точкой на поверхности Земли при текущем расстоянии r_i :

$$\delta = \frac{r_i}{r_E} \quad \text{рад}; \quad (61)$$

r_E – эффективный радиус Земли, $r_E = 8500$ км.

Определяется длина трассы от наземной станции до точки пересечения луча:

$$r_t = h_m \sqrt{1 + 2 \frac{r_E}{h_m}}. \quad (62)$$

Определяется длина трассы от пересечения луча до земной станции спутниковой связи:

$$r_r = \sqrt{r_E^2 \sin^2 \varepsilon + h_m^2 + 2h_m r_E} - r_E \sin \varepsilon, \quad (63)$$

где

ε – угол места антенны земной станции.

Определяется расстояние по горизонтали от земной станции до края очага дождя:

$$d_e = r_E \arcsin \left(\frac{r_r}{h_m + r_E} \cos \varepsilon \right). \quad (64)$$

Рассчитывается параметр h_c , который зависит от области в очаге дождя, где происходит пересечение луча:

$$h_c = \begin{cases} h_m & \text{при } h_R \leq h_m; \\ h_R & \text{при } h_m < h_R < h_m + d_c \tan \varepsilon; \\ h_m + d_c \tan \varepsilon & \text{при } h_R \geq h_m + d_c \tan \varepsilon. \end{cases} \quad (65)$$

Рассчитывается затухание от точки на текущем расстоянии до пересечения луча:

$$\Gamma_2 = \gamma_R r_m \left[1 - \exp\left(-\frac{r_t}{r_m}\right) \right] \quad (66)$$

и затухание от пересечения луча до земной станции:

$$\Gamma_1 = \begin{cases} \gamma_R r_m \left[1 - \exp\left(-\frac{d_e}{r_m}\right) \right] & \text{при } h_m \leq h_R; \\ \gamma_R r_m \left[\exp\left(-\frac{(h_m - h_R) \cot \varepsilon}{r_m}\right) - \exp\left(-\frac{d_e}{r_m}\right) \right] & \text{при } h_m > h_R. \end{cases} \quad (67)$$

Отсюда оценивается общее затухание на трассе за счет рассеяния в дожде ниже высоты дождя:

$$\Gamma_b = \exp\left[-0,23 \left(\frac{\Gamma_1}{\cos \varepsilon} + \Gamma_2 \right) \right] \quad (68)$$

и общее затухание на трассе за счет рассеяния от слоя плавления и льда над высотой дождя:

$$\Gamma_a = \exp\left[-0,23 \left(\frac{\Gamma_1}{\cos \varepsilon} + \gamma_R \frac{h_c - h_m}{\sin \varepsilon} \right) \right]. \quad (69)$$

Рассчитывается эффективная передаточная функция рассеяния для рассеяния в дожде ниже высоты дождя:

$$C_b = \frac{4,34}{\gamma_R (1 + \cos \varepsilon)} \left[1 - \exp\left\{-0,23 \gamma_R (h_c - h_m) \frac{\sin \varepsilon}{1 - \cos \varepsilon}\right\} \right] \quad (70)$$

и для рассеяния ото льда выше высоты дождя:

$$C_a = \frac{0,67}{\sin \varepsilon_s} \left[\exp\{-1,5(h_c - h_R)\} - \exp\{-1,5(h_m - h_R + d_c \tan \varepsilon)\} \right]. \quad (71)$$

Общая эффективная передаточная функция для рассеяния определяется тогда следующим образом:

$$C = \Gamma_b C_b + \Gamma_a C_a. \quad (72)$$

Определяется отклонение от рэлеевского рассеяния для частот выше 10 ГГц:

$$10 \log S = \begin{cases} 0,005(f - 10)^{1,7} R(p_2)^{0,4} & \text{при } 10 \leq f \leq 40; \\ 0 & \text{при } f < 10 \text{ или если } C_b = 0. \end{cases} \quad (73)$$

Следует отметить, что это отклонение от рэлеевского рассеяния относится только к рассеянию в дожде ниже высоты дождя.

Затухание в атмосферных газах теперь можно оценить с помощью приведенных ниже выражений. Сначала определяется эквивалентная длина трассы, чтобы учесть уменьшение удельного затухания в газах с высотой. Для трассы от наземной станции до очага дождя:

$$d_{to} = \begin{cases} 0,9r_t & \text{при } r_t < 270 \text{ км;} \\ 243 + 0,4(r_t - 270) & \text{при } r_t \geq 270 \text{ км;} \end{cases} \quad (74a)$$

$$d_{tv} = \begin{cases} 0,85r_t & \text{при } r_t < 220 \text{ км;} \\ 187 + 0,4(r_t - 220) & \text{при } r_t \geq 220 \text{ км} \end{cases} \quad (74b)$$

и для трассы от очага дождя до земной станции:

$$d_{ro} = 0,8r_r; \quad (75a)$$

$$d_{rv} = 0,5r_r. \quad (75b)$$

Затем определяется затухание в газах по следующей формуле:

$$A_g = \gamma_o(d_{to} + d_{ro}) + \gamma_{wv}(d_{tv} + d_{rv}). \quad (76)$$

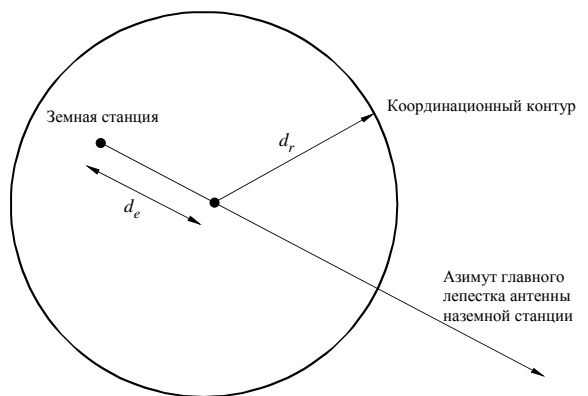
Наконец, определяются потери при передаче с помощью следующего выражения:

$$L_r(p_2) = 173 + 20 \log r_t - 20 \log f - 14 \log R(p_2) - 10 \log C + 10 \log S - G_T + A_g. \quad (77)$$

Получаемое при таких итерациях расстояние d_r представляет собой расстояния от наземной станции до края очага дождя, тогда координационный контур задается окружностью радиусом d_r с центром на расстоянии d_e от земной станции вдоль ее азимутального направления, как показано на рисунке 2.

РИСУНОК 2

Положение координационного контура



P.0620-02

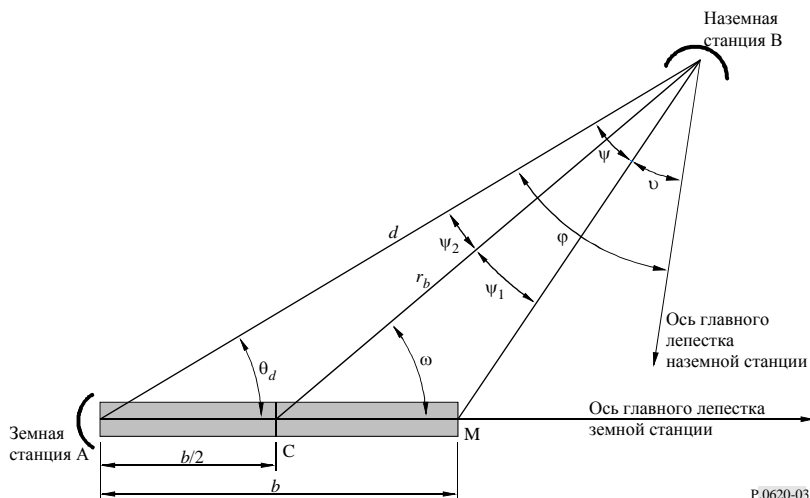
4 Определение вспомогательных контуров для распространения вида (2)

Вспомогательные контуры для распространения вида (2) позволяют учесть азимутальное отклонение луча антенны наземной станции от местоположения осуществляющей координацию земной станции. На рисунке 3 показана проекция области рассеяния гидрометеорами на горизонтальную плоскость. На этом рисунке земная и наземная станции расположены соответственно в точках А и В, причем наземная станция находится на радиальной линии, определяемой углом ω от точки С в центре основного или дополнительного контура для распространения вида (2). Точка С служит также центром вспомогательного контура.

Затененная область на рисунке 3 соответствует критическому участку вдоль оси главного лепестка земной станции между земной станцией и высотой дождя. На этом критическом участке может быть образован общий объем между лепестком земной станции и лепестком любых наземных станций в пределах основного или дополнительного контура для распространения вида (2). Этот критический участок имеет длину b , а его максимальная протяженность по горизонтали определяется точкой М.

Пересечение этого критического участка с осью главного лепестка наземной станции может привести к значительным помехам вследствие рассеяния гидрометеорами за счет связывания двух главных лепестков.

РИСУНОК 3
Геометрия распространения в горизонтальной плоскости



P.0620-03

Для заданной точки в пределах основного или дополнительного контура для распространения вида (2) угол, противолежащий критическому участку, называется критическим углом ψ . Угол защиты υ представляет собой угол отклонения оси главного лепестка наземной станции от критического участка. Угол избегания пересечения луча между осью главного лепестка наземной станции и местоположением земной станции обозначается как φ . Это сумма двух углов ψ и υ , и именно эта величина имеет постоянное значение для конкретного вспомогательного контура. Каждый вспомогательный контур строится путем изменения угла ω и определения расстояния r_b от точки С до вспомогательного контура. По мере увеличения угла ω от 0° до 360° углы ψ и υ также изменяются, но их сумма остается неизменной.

При расчете вспомогательного контура для распространения вида (2) при заданном значении угла избегания пересечения луча φ можно использовать алгоритм, приведенный в пункте 4.1 настоящего Дополнения.

Этот метод основан на итерационном уменьшении расстояния r_b между наземной станцией и земной станцией, начиная с расстояния для основного контура d_r , определяемого по приведенному выше уравнению (59), и до тех пор, пока либо не будет получено наименьшее значение расстояния r_b , при котором обеспечиваются минимальные требуемые потери, либо не будет достигнуто минимальное координационное расстояние. Для каждого значения r_b определяют критический угол ψ , а затем рассчитывают угол защиты υ . После этого в уравнении (77) используют усиление антенны наземной станции, соответствующее υ , и текущее расстояние r_b , чтобы получить потери на трассе для распространения вида (2).

Для построения полного вспомогательного контура для заданного значения угла избегания пересечения луча φ приведенный выше процесс повторяют для каждого угла ω . Для некоторых комбинаций угла избегания пересечения луча и угла ω вспомогательный контур может совпадать с основным или дополнительным контуром для распространения вида (2).

4.1 Пошаговый алгоритм

Вспомогательные контуры для распространения вида (2) строятся путем расчета расстояний вдоль радиальных линий от центра кругового основного или дополнительного контура для распространения вида (2), который находится в точке С на расстоянии $b/2$ от земной станции вдоль азимута оси главного лепестка ее антенны. Расстояние $b/2$ равно d_e , где d_e определяется уравнением (64).

Для выбранного значения угла избегания пересечения луча φ определяется описанным ниже образом вспомогательный контур для значений угла ω в диапазоне от 0° до 180° с шагом 1° :

- a) Значение r_b устанавливается равным расстоянию d_r основного или дополнительного контура для распространения вида (2), как указано в уравнении (59).
- b) Значение ψ рассчитывается с помощью следующих формул:

$$\psi_1 = \arctan \left(\frac{b \sin \omega}{2r_b - b \cos \omega} \right); \quad (78)$$

$$\psi_2 = \arctan \left(\frac{b \sin \omega}{2r_b + b \cos \omega} \right); \quad (79)$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2. \quad (80)$$

- c) Если $\psi > \varphi$, то вспомогательный контур для распространения вида (2) совпадает с основным или дополнительным контуром для распространения вида (2) для текущего значения ω ; расчет для этого значения ω на этом заканчивается, и далее следует шаг j). В противном случае последовательно выполняются приведенные ниже шаги d)–i), пока не будет удовлетворено одно из условий окончания расчетов, указанных в шаге f) и шаге i).
- d) Значение r_b , уменьшается на 0,2 км.
- e) Повторно рассчитывается критический угол ψ с помощью уравнений (78), (79) и (80).
- f) Если $(0,5 b \sin \omega / \sin \psi_2) < d_{\min}$, то вспомогательный контур для распространения вида (2) совпадает с минимальным координационным расстоянием d_{\min} , и расчет для этого текущего значения ω на этом заканчивается – далее следует шаг j). В противном случае переходят к шагу g).
- g) Рассчитывается угол защиты $\upsilon = \varphi - \psi$.
- h) Рассчитывается усиление антенны наземной станции при угле υ , $G(\upsilon)$, относительно оси лепестка с использованием эталонной диаграммы направленности антенны, приведенной в Дополнении 4.
- i) В уравнении (77) вместо G_T используется усиление, рассчитанное на шаге h), и новое значение r_b и рассчитываются соответствующие потери при распространении L_r для распространения вида (2). Если $L_r < L_b(p_2)$, значение r_b увеличивается на 0,2 км, и это значение принимается в качестве расстояния для текущей радиальной линии. В противном случае процедура повторяется начиная с шага d).
- j) Как только будет получено новое значение r_b для текущего значения угла ω , рассчитывается угол θ_d от места расположения земной станции и, если требуется, соответствующее расстояние d до этой точки на контуре с помощью выражений:

$$d = 0,5b \sin \omega / \sin \psi_2; \quad (81)$$

$$\theta_d = \omega - \psi_2. \quad (82)$$

Вспомогательный контур для распространения вида (2) симметричен относительно оси главного лепестка антенны земной станции. Таким образом, значения d и θ_d , соответствующие значениям ω от 181° до 359° , можно найти, учитывая, что результаты для данного значения ω совпадают с величинами для $(-\omega)$ или $(360^\circ - \omega)$.

Использованный выше размер шага для увеличения расстояний r_b , составляющий 0,2 км, пригоден для большинства ситуаций. Он позволяет контролировать степень детализации результата для набора значений r_b . При малых значениях угла места лепестка земной станции недостаточная степень детализации становится более заметной для значений d и θ_d , и можно использовать меньший размер шага.

Прилагаемый документ 4 к Приложению 1

Эталонные диаграммы направленности антенн радиорелейных систем прямой видимости для использования при изучении координации и оценке помех

Расчет диаграмм направленности антенн для этой цели и применимый диапазон частот см. в Рекомендации МСЭ-R F.699 "Эталонные диаграммы направленности антенн фиксированных беспроводных систем для использования при изучении вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 100 МГц до примерно 70 ГГц".

Прилагаемый документ 5 к Приложению 1

Входные и производные параметры

В некоторых случаях в настоящей Рекомендации параметр может быть входным или производным. Статус параметров (входной или производный) приведен в таблице 3. Этот статус определяется следующим образом:

- *входной*: входной параметр, значение которого не задано или не может быть получено в рамках настоящей Рекомендации, например частота, широта земной станции и т. д.;
- *производный*: параметр, значение которого получают, определяют (например, константа) либо рассчитывают в рамках настоящей Рекомендации, например интенсивность дождя на поверхности $R(p)$ (мм/час) (получают по картам и графикам), $d_{\max 2}$ (получают из таблицы 3), координационное расстояние для распространения вида (1) d_1 (км) (рассчитывают) и т. д.

ТАБЛИЦА 3
Определение терминов

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
A_1	дБ	Не зависящая от расстояния составляющая потерь при волноводном распространении	Уравнение (25)	Производный
A_a	дБ	Не зависящая от расстояния составляющая потерь при тропосферном рассеянии	Уравнение (29)	Производный
A_c	дБ	Поправка для прямой связи в волноводах над поверхностью моря	Уравнение (24)	Производный
A_d	дБ	Поправка для расстояния до горизонта вдоль каждого азимута от земной станции	Уравнение (10)	Производный
A_g	дБ	Затухание в атмосферных газах при расчетах для распространения вида (1) и вида (2)	Уравнения (32) и (76)	Производный
A_h	дБ	Общие потери за счет экранирования рельефом по каждому азимуту от земной станции	Уравнения (11a)–(11c), пункт 1 Прилагаемого документа 2	Производный
A_w	дБ	Затухание в водяных парах на части трассы в пределах минимального расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (22b)	Производный
b	км	Расстояние по горизонтали между земной станцией и наиболее удаленным общим объемом, используемое при расчете вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Пункт 4.1 Прилагаемого документа 3	Производный
C	–	Эффективная передаточная функция рассеяния, применяемая для распространения вида (2)	Уравнение (72)	Производный
C_a, C_b	–	Эффективные передаточные функции для рассеяния выше и ниже высоты дождя	Уравнения (71) и (70)	Производный
d	км	Расстояние от земной станции до точки на вспомогательном контуре, используемое при расчете вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Уравнение (81), пункт 4.1 Прилагаемого документа 3	Производный
d_1	км	Координационное расстояние для распространения вида (1)	Пункты 2, 3 и 4 Прилагаемого документа 2	Производный
d_c	км	Расстояние от земной станции до побережья в рассматриваемом направлении, используемое при расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (24)	Входной
d_c	км	Диаметр очага дождя, используемый при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (52)	Производный
d_e	км	Расстояние по горизонтали от земной станции до края очага дождя	Уравнение (64)	Производный
d_h	км	Расстояние до радиогоризонта, если смотреть из центра антенны земной станции	Пункт 1 Прилагаемого документа 2	Входной
d_i	км	Текущее расстояние от земной станции, используемое при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнения (15), (31) и (48)	Производный
d_{lm}	км	Наибольшая протяженность непрерывного внутреннего участка суши, Зона A2, в пределах расстояния d_i , используемая при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Пункт 4.2 Прилагаемого документа 1	Входной

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
$d_{\max 1}$	км	Максимальное расчетное расстояние для распространения вида (1)	Пункт 5.2	Производный
$d_{\max 2}$	км	Максимальное расчетное расстояние для распространения вида (2)	Таблица 2	Производный
d_{\min}	км	Минимальное координационное расстояние для распространения как вида (1), так и вида (2)	Уравнения (5a)–(5f)	Производный
d'_{\min}	км	Минимальное координационное расстояние для низких частот	Уравнение (4)	Производный
d_{to}, d_{rv} d_{ro}, d_{rv}	км	Расстояние, используемое для определения затухания в газах при расчетах для распространения вида (2)	Уравнения (74a), (74b), (75a) и (75b)	Производный
d_r	км	Расстояние от очага дождя, при котором потери равняются требуемым потерям при передаче для распространения вида (2) или превышают их	Пункт 1 Прилагаемого документа 3	Производный
d_{tm}	км	Наибольшая протяженность непрерывного участка суши (то есть сумма внутреннего и прибрежного участков), Зона A1 + Зона A2, в пределах расстояния d_i , используемая при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Пункт 4.2 Прилагаемого документа 1	Входной
D	м	Диаметр антенны, используемый для определения эталонной диаграммы направленности антенны (Дополнение 4)	Прилагаемый документ 4	Входной
f	ГГц	Частота от 100 МГц до 105 ГГц	Не применимо	Входной
G_L		Член, используемый для преобразования процента для худшего месяца в процент времени в год	Уравнения (7a) и (7b)	Производный
G_{\max}	дБ	Осевое усиление антенны, используемое в эталонной диаграмме направленности антенны (Дополнение 4)	Прилагаемый документ 4	Входной
G_T	дБ	Усиление антенны наземной станции, принятое равным 42 дБ и используемое при расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (57)	Входной
h_c	км	Параметр, используемый при расчетах распространения вида (2), который зависит от области в очаге дождя	Уравнение (65)	Производный
h_m	км	Высота над уровнем земли пересечения лучей при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (60)	Производный
h_R	км	Эффективная высота дождя над уровнем земли	Не применимо	Входной
$L(p_1)$	дБ	Минимальные допустимые базовые потери при передаче, требуемые для $p_1\%$ времени (распространение вида (1))	Пункт 1	Входной
$L_b(p_2)$	дБ	Минимальные допустимые базовые потери при передаче, требуемые для $p_2\%$ времени (распространение вида (2))	Пункт 1	Входной
$L_{bl}(p_1)$	дБ	Потери, применимые к трассе, которая считается полностью сухопутной (Зона A1 или A2), и используемые при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (16)	Производный

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
$L_{bs}(p_1)$	дБ	Потери, применимые к трассе, которая считается полностью проходящей над холодным морем (Зона В) или теплым морем (Зона С), и используемые при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнения (17a) и (17b)	Производный
$L_1(p_1)$ $L_2(p_1)$ $L_3(p_1)$ $L_4(p_1)$ $L_5(p_1)$ $L_6(p_1)$ $L_7(p_1)$ $L_8(p_1)$ $L_9(p_1)$	дБ дБ дБ дБ дБ дБ дБ дБ дБ	Потери, которые используются при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнения (14), (18), (26), (30), (40), (41), (46), (47) и (49)	Производный
L_f	дБ	Зависящие от частоты потери, которые используются при расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (28)	Производный
$L_r(p_2)$	дБ	Потери при передаче, получаемые в виде монотонной функции интенсивности дождя R , которые используются при определении координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (77)	Производный
N_0	–	Преломляющая способность поверхности на уровне моря в центре трассы	Уравнение (3)	Производный
p_1	%	Среднегодовой процент времени для распространения вида (1) при p_1 в пределах: от 1% до 50% для f между 100 МГц и 790 МГц, от 0,001% до 50% для f между 790 МГц и 105 ГГц	Уравнение (8), пункт 6.1	Входной
p_{w1}	%	Процент времени для худшего месяца для распространения вида (1)	Пункт 6.1	Входной
p_2	%	Среднегодовой процент времени для распространения вида (2) от 0,001% до 10%	Уравнение (9), пункт 7.2	Входной или производный
p_{w2}	%	Процент времени для худшего месяца для распространения вида (2)	Пункт 7.2	Входной
$R(p_2)$	мм/час	Интенсивность дождя на поверхности, превышаемая в среднем в течение $p_2\%$ в год, которая используется при расчетах для распространения вида (2)		Входной
r_b	км	Расстояние от центра общего объема до вспомогательного контура, используемое при расчете вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Уравнения (78), (79), пункт 4.1 Прилагаемого документа 3	Производный
r_E	км	Эффективный радиус Земли (= 8500 км)	Пункт 3 Прилагаемого документа 3	Входной
r_i	км	Текущее расстояние между областью максимального рассеяния и возможным местоположением наземной станции, которое используется при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (51)	Производный
r_m	км	Расстояние нормирования для затухания за пределами общего объема рассеяния при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (54)	Производный
r_r	км	Длина трассы от пересечения луча до земной станции при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (63)	Производный

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
r_t	км	Длина трассы от пересечения луча до наземной станции при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (62)	Производный
s	км	Шаг увеличения (приращение) расстояния, используемый при итерационном расчете координационного расстояния (рекомендуемое значение равно 1 км)	Пункт 1	Входной
S	–	Отклонение от рэлеевского рассеяния при расчете для распространения вида (2)	Уравнение (73)	Производный
β	–	Параметр, используемый при расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (38)	Производный
β_p	%	Относительная частота возникновения аномального распространения при ясном небе	Уравнения (2a) и (2b)	Производный
δ	Рад	Угловое разнесение в центре Земли между земной станцией и текущим расстоянием при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (61)	Производный
ε_L	–	Допуск на дополнительные зависящие от расстояния и другие потери, включая потери, связанные с высотой рельефа	Уравнение (27)	Производный
ε	Градусы	Угол места главного лепестка антенны земной станции	Пункт 3 Прилагаемого документа 3	Входной
Γ		Член, используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (39)	Производный
Γ_1	дБ	Член, используемый при расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (67)	Производный
Γ_2	дБ	Член, используемый при расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (66)	Производный
Γ_a	дБ	Член, используемый при расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (69)	Производный
Γ_b	дБ	Член, используемый при расчете координационного расстояния для распространения вида (2)	Уравнение (68)	Производный
γ_d	дБ/км	Член удельного затухания, используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (23)	Производный
γ_{gm}	дБ/км	Удельное затухание за счет поглощения газами, используемое в диапазоне частот от 60 ГГц до 105 ГГц	Уравнение (45)	Производный
γ_o	дБ/км	Удельное затухание в сухом воздухе	Уравнения (20) и (55)	Производный
γ_{om}	дБ/км	Удельное затухание в сухом воздухе, используемое в диапазоне частот от 60 ГГц до 105 ГГц	Уравнения (43a) и (43b)	Производный
γ_R	дБ/км	Удельное затухание в дожде	Прилагаемый документ 3	Входной
γ_w	дБ/км	Удельное затухание в водяных парах	Уравнение (21)	Производный
γ_{wv}	дБ/км	Удельное затухание за счет поглощения водяными парами, используемое в модели рассеяния гидрометеорами	Уравнение (56)	Производный

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
γ_{wt}	дБ/км	Удельное затухание за счет поглощения водяными парами, используемое в модели тропосферного рассеяния (используется плотность водяных паров 3 г/м^3)	Уравнение (22a)	Производный
γ_{wm}	дБ/км	Удельное затухание за счет поглощения водяными парами, используемое в диапазоне частот от 60 ГГц до 105 ГГц	Уравнение (44)	Производный
η	–	Промежуточный параметр при расчетах для распространения вида (2)	Уравнение (53)	Производный
λ	м	Длина волны, используемая для определения эталонной диаграммы направленности антенны (Дополнение 4)	Прилагаемый документ 4	Входной
μ_1	–	Параметр, зависящий от степени, в которой трасса проходит по суше (внутренний и/или прибрежный участки) и по воде, и используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (34)	Производный
μ_2	–	Параметр, используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (36)	Производный
μ_4	–	Параметр, используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнения (37a) и (37b)	Производный
θ_d	Градусы	Азимут направления главного лепестка от земной станции к точке на вспомогательном контуре, используемый при расчете вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Уравнение (82), пункт 4.1 Прилагаемого документа 3	Производный
θ_h	Градусы	Угол места горизонта земной станции	Пункт 1 Прилагаемого документа 2	Входной
ρ	г/м^3	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени	Уравнения (21) и (56)	Входной
ρ_0	г/м^3	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени на земной станции	Уравнение (22b)	Входной
ρ_{dmin}	г/м^3	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени при d_{min} для соответствующего азимута	Уравнение (22b)	Входной
ρ_i	г/м^3	Плотность водяных паров в атмосфере, превышаемая в течение 50% времени для каждого шага итерации для распространения вида (1)	Уравнение (32)	Входной
σ	–	Параметр, используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (36)	Производный
τ	–	Параметр, используемый при итерационном расчете координационного расстояния для распространения вида (1)	Уравнение (33)	Производный
υ	Градусы	Угол защиты, используемый при определении вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Шаг g) в пункте 4.1 Прилагаемого документа 3	Производный
ω	Градусы	Полярный угол наземной станции относительно центра общего объема, используемый при расчете вспомогательных контуров для распространения вида (2)	Пункт 4 Прилагаемого документа 3	Входной

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Параметр	Единицы	Определение	Где определен	Статус
ψ	Градусы	Угол, противолежащий критическому участку, в пределах которого может возникать общий объем между земной станцией и лепестком любой наземной станции, при распространении вида (2)	Уравнение (80), пункт 4.1 Прилагаемого документа 3	Производный
ζ	Градусы	Широта земной станции (северная широта – положительная, южная широта – отрицательная)	Уравнения (1a) и (1b)	Входной
ζ_r	Градусы	Широта, связанная с широтой земной станции и используемая при определении подходящего значения относительной частоты возникновения аномального распространения при ясном небе, β_p	Уравнения (1a) и (1b)	Производный