**Рекомендация МСЭ-R P.1144-12**

**(08/2023)**

Серия P: Распространение радиоволн

**Руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3‑й Исследовательской комиссией по радиосвязи**

**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 P.1144-12

Руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи

(1995-1999-2001-2001-2007-2009-2012-2015-06/2017-12/2017-2019-2021-2023)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация содержит руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи. В ней пользователям рекомендуются наиболее подходящие методы для конкретных применений, а также представлена информация о пределах, требуемой входящей информации и о результатах для каждого из этих методов.

Ключевые слова

Распространение радиоволн, методы прогнозирования, цифровые продукты, пространственная интерполяция, система точек отсчета высоты.

Глоссарий

|  |  |
| --- | --- |
| **Символ** | **Описание** |
| *n* | число точек (узлов) квадратуры Гаусса |
|  | веса квадратуры Гаусса |
|   | точки квадратуры Гаусса |

Другие символы, не указанные в таблице выше, носят промежуточный характер и не имеют определения.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

что необходимо оказать помощь пользователям Рекомендаций МСЭ-R серии P (разработанных 3‑й Исследовательской комиссией по радиосвязи),

рекомендует,

1 рассматривать информацию, содержащуюся в таблице 1, для руководства по применению различных методов прогнозирования распространения радиоволн, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии P (разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи);

2 рассматривать информацию, содержащуюся в таблице 2 и Приложении 1, для руководства по использованию различных цифровых карт геофизических параметров, необходимых для применения методов прогнозирования распространения радиоволн, упомянутых в пункте 1 раздела *рекомендует* выше.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – По каждой Рекомендации МСЭ-R в таблице 1 представлена соответствующая информация в колонках, которая определяет:

*Применение*: служба(ы) или применение, для которых предназначена Рекомендация.

*Тип*: ситуация, на которую распространяется Рекомендация, например "из пункта в пункт", "из пункта в зону", "прямая видимость" и т. п.

*Результат*: значение параметров результата, полученного по методу, предусмотренному в Рекомендации, например основные потери передачи.

*Частота*: применяемый в Рекомендации диапазон частоты.

*Расстояние*: применяемая в Рекомендации дальность действия.

% *времени*: применяемые в Рекомендации значения процентной доли времени или диапазоны значений; % времени представляет собой процентную долю времени, которую превышает прогнозируемый сигнал в течение среднего года.

% *местоположений*: применяемый в Рекомендации диапазон процентной доли местоположений; % местоположений представляет собой процентную долю местоположений в пределах, предположим, квадрата со стороной 100−200 м, которую превышает прогнозируемый сигнал.

*Высота терминала*: применяемый в Рекомендации диапазон высоты оконечной антенны.

*Входные данные*: список параметров, используемых на основе метода, содержащегося в Рекомендации; этот список составляется с учетом значения параметров и в некоторых случаях могут использоваться значения по умолчанию.

Информация, содержащаяся в таблице 1, уже представлена в самих Рекомендациях; однако таблица позволяет пользователям быстро определять возможности (и ограничения) Рекомендаций без необходимости вести поиск во всем тексте.

ТАБЛИЦА 1

Методы прогнозирования распространения радиоволн МСЭ-R

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рек. МСЭ-R P.368 | Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц | Все службы | Из пункта в пункт | Напряженность поля | От 10 кГц до 30 МГц | От 1 до 10 000 км | Не применяется | Не применяется | Земного базирования | Частота Проводимость земной поверхности |
| Рек. МСЭ-R P.452 | Процедура прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,1 ГГц | Службы, использующие станции на поверхности Земли; помехи  | Из пункта в пункт | Основные потери передачи | От 100 МГц до 50 ГГц | Не уточняется, но до радиогоризонта и далее | От 0,001 до 50Средний год и худший месяц | Не применяется | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Данные о характере трассыЧастотаПроцентная доля времени Высота антенны ТхВысота антенны RxШирота и долгота TxШирота и долгота Rx Метеорологические данныеПоляризация |
| Рек. МСЭ-R P.528 | Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ | Воздушная подвижная | Из пункта в зону | Основные потери передачи | От 100 МГц до 30 ГГц | Не уточняется, но до радиогоризонта и далее. Для применений воздушной службы 0 км расстояния по дуге большого круга не означает 0 км длины трассы. | 1–99 | Не применяется | Высота терминала:1,5–20 000 м  | РасстояниеВысота TxЧастотаВысота RxПроцент времениПоляризация |
| Рек. МСЭ-R P.530 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости | Фиксированные линии связи прямой видимости | Из пункта в пункт Прямая видимость | Потери при распространении. Улучшение разнесения (условия чистого воздуха)XPD(2)Выход из строяОшибка в показателях | Примерно от 150 МГц до 100 ГГц | До 200 км при прямой видимости | Вся процентная доля времени в условиях чистого воздуха;от 1 до 0,001 в условиях осадков(1). И худший месяц по ослаблению | Не применяется | Достаточно высокий для обеспечения установленного просвета трассы | РасстояниеВысота Tx ЧастотаВысота RxПроцентная доля времениДанные о препятствиях на трассе Данные о климатеИнформация о профиле местности |

ТАБЛИЦА 1 (*продолжение*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| Рек. МСЭ-R P.533 | Метод для прогнозирования рабочих характеристик ВЧ-линий | Радиовещательная ФиксированнаяПодвижная | Из пункта в пункт | Основные MUF Напряженность поля ионосферной радиоволны Имеющаяся мощность приемника Отношение сигнал/шум LUFНадежность схемы | От 2 до 30 МГц | От 0 до 40 000 км | Все процентные доли  | Не применяется | Не применяется | Широта и долгота TxШирота и долгота RxЧисло солнечных пятен МесяцВремя дня ЧастотыМощность TxТип антенны TxТип антенны Rx |
| Рек. МСЭ-R P.534 | Метод расчета напряженности поля при распространении посредством спорадического слоя E | ФиксированнаяПодвижная Радиовещательная | Из пункта в пункт через спорадичес-кое E | Напряженность поля | От 30 до 100 МГц | От 0 до 4 000 км | От 0,1 до 50 | Не применяется | Не применяется | РасстояниеЧастота |
| Рек. МСЭ-R P.617 | Методы прогнозирования и данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования тропосферных радиорелейных систем | Транс-горизонтальная с фиксированными связями | Из пункта в пункт | Основные потери передачи | > 30 МГц | От 100 до 1 000 км | От 0,001 до 99,999 | Не применяется | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Частота Усиление антенны Tx Усиление антенны RxГеометрия трассы |
| Рек. МСЭ-R P.618 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос | Спутниковая | Из пунктав пункт | Потери при распространении Усиление разброса и (в условиях осадков) XPD(2) | От 1 до 55 ГГц | Любая практическая высота орбиты | 0,001−5 для ослабления в дожде; 0,001−50 для общего ослабления; 0,001−1 для XPD(2)Также худший месяц по ослаблению | Не применяется | Предел отсутствует | Метеорологические данные Частота Угол местаВысота земной станции Разделение и угол между местоположениями земных станций (для усиления разброса)Диаметр и эффективность антенны (для мерцания)Угол поляризации (для XPD)(2) |

ТАБЛИЦА 1 (*продолжение*)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рек. МСЭ-R P.619 | Данные о распро­странении радиоволн, необходимые для определения помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли  | Спутниковая | Из пунктав пункт | Основные потери передачи от единичной входной помехи Основные потери передачи в условиях ясного неба для помехи от многих источников | От 0,1 до 100 ГГц | Любая практическая высота орбиты | От 0,001 до 50 | Не применяется | Предел отсутствует | ЧастотаУгол места земной станцииУгловой разнос трассыДлина трассыЗатухание в атмосферных газахУсиление за счет мерцанияМаксимально допустимое затухание полезного сигнала |
| Рек. МСЭ-R P.620 | Данные о распространении радиоволн, требующиеся для оценки координационных расстояний в диапазоне частот от 100 МГц до 105 ГГц | Координация частот земных станций | Координация расстояний | Расстояние, при котором достигается требуемая потеря при распростра-нении | От 100 МГц до 105 ГГц | До 1 200 км | От 0,001 до 50 | Не применяется | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Минимальные базовые потери при передачеЧастота Процент времени Угол места земной станции |
| Рек. МСЭ-R P.678 | Оценка изменчивости явлений распространения радиоволн и оценка риска, связанного с запасом на распространение | Модели интенсивности дождевых осадковСпутниковая | Из пункта в зону | Изменчивость явлений распростра-нения радиоволн | От 12 до 50 ГГц | Любая практическая высота орбиты | 0,01−2 для интенсивно-сти дождевых осадков и ослабления в дожде на наклонной трассе | Не применяется | Предел отсутствует | Вероятность превышения |
| Рек. МСЭ-R P.679 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования спутниковых радиовещательных систем | Спутниковое радиовещание | Из пункта в зону | Избыточные потери передачи Эффект местной среды | От 0,5 до 5,1 ГГц | Любая практическая высота орбиты | Не применяется | Пределы не установлены | Пределы не установлены | Частота Угол местаОсобенности местной среды |

ТАБЛИЦА 1 (*продолжение*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| Рек. МСЭ-R P.680 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования морских подвижных систем электросвязи Земля-космос | Морская подвижная спутниковая | Из пункта в пункт | Замирание на поверхности моря Продолжи-тельность замирания Помехи (соседний спутник) | 0,8−8 ГГц | Любая практическая высота орбиты | До 0,001% через распределение Райса–Накагами Предел в 0,01% для помех(1) | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места Максимальное усиление точки прицеливания антенны |
| Рек. МСЭ-R P.681 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования сухопутных подвижных систем связи Земля-космос | Сухопутная подвижная спутниковая | Из пункта в пункт | Замирание трассы Продолжи-тельность замирания Продолжи-тельность незамирания | От 0,8 до 20 ГГц | Любая практическая высота орбиты | Не применяется Процентная доля пройденного расстояния от 1 до 80%(1) | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места Процентная доля пройденного расстояния Примерный уровень оптического затенения |
| Рек. МСЭ-R P.682 | Данные о распространении радиоволн, необходимые для проектирования воздушных подвижных систем связи Земля-космос | Воздушная подвижная спутниковая | Из пункта в пункт | Замирание на поверхности моря Множество трасс от земли и самолета во время посадки | 1–2 ГГц (замирание на поверхности моря)1–3 ГГц (множество трасс от земли) | Любая практическая высота орбиты | До 0,001% через распределение Райс-Накагами(1) | Не применяется | Предел отсутствует для замирания на поверхности моряДо 1 км для земного отражения при посадке | Частота Угол места ПоляризацияМаксимальное усиление точки прицеливания антенны Высота антенны |
| Рек. МСЭ-R P.684 | Прогнозирование напряженности поля на частотах ниже приблизительно150 кГц | ФиксированнаяПодвижная | Из пункта в пункт Из пункта в зону | Напряженность поля ионизирующей радиоволны | От 30 до 150 кГц | От 0 до 16 000 км | 50 | Не применяется | Не применяется | Широта и долгота TxШирота и долгота RxРасстояниеМощность TxЧастота Земные константыВремя годаКоличество пятен на солнцеВремя дня |

ТАБЛИЦА 1 (*продолжение*)

| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рек. МСЭ-R P.843 | Связь посредством отражения от следов метеоров | ФиксированнаяПодвижная Радиовещательная | Из пункта в пункт через метеор-пакеты | Полученная мощностьСкорость передачи пакетов | От 30 до 100 МГц | От 100 до 1 000 км | 0 до 5 | Не применяется | Не применяется | Частота РасстояниеМощность Tx Усиление антенны |
| Рек. МСЭ-R P.1147 | Прогнозирование напряженности поля пространственной волны на частотах между приблизительно 150 и 1 700 кГц | Радиовещательная | Из пункта в зону | Напряженность поля ионизирующей радиоволны | От 0,15 до 1,7 МГц | От 50 до 12 000 км | 1, 10, 50 | Не применяется | Не применяется | Широта и долгота TxШирота и долгота RxРасстояниеКоличество пятен на солнце Мощность TxЧастота |
| Рек. МСЭ-R P.1238 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зоновых радиосетей в частотном диапазоне 300 МГц – 100 ГГц | ПодвижнаяЛокальная радиосеть (RLAN) | Встроенные методы распростра-нения | Основные потери передачи Разброс задержки | От 300 МГц до 450 ГГц | В зданиях | Не применяется | Не применяется | База: около 2−3 мПодвижная: около 0,5−3 м | Частота РасстояниеФакторы пола и стен |
| Рек. МСЭ-R P.1410 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных широкополосных систем радиодоступа, работающих в диапазоне частот от 3 до 60 ГГц | Широкополосный радиодоступ | Из пункта в зону | ПокрытиеВременное сокращение покрытия из‑за дождя | От 3 до 60 ГГц | 0−5 км | От 0,001 до 1 (для расчета сокращения из-за дождя) | До 100 | Предел отсутствует; 0−300 м (типичная) | Частота Размер ячейкиВысота терминалаСтатистические параметры высоты зданий  |

ТАБЛИЦА 1 (*продолжение*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| Рек. МСЭ-R P.1411 | Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем радиосвязи малого радиуса действия и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц | Подвижная | Методы распростра-нения по короткой трассе | Основные потери передачи Разброс задержки | От 300 МГц до 100 ГГц | < 1 км | Не применяется | Не применяется | База: около 4–50 мПодвижная: около 0,5−3 м | Частота РасстояниеРазмеры улицВысота строений |
| Рек. МСЭ-R P.1546 | Метод прогнозирования для трасс связи "пункта с зоной" для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4 000 МГц | Наземные службы | Из пункта в зону | Напряженность поля | От 30 до 4 000 МГц | от 1 до 1 000 км | от 1 до 50 | от 1 до 99 | База Тх: эффективная высота от менее от 0 м до 3 000 мПодвижная Rx: ≥ 1 м | Высота рельефа местности и наземный охват (факультативно)Классификация трассыРасстояниеВысота антенны TxЧастотаПроцент времениВысота антенны RxУгол просвета местностиПроцентная доля местоположенийГрадиент преломляющей способности |
| Рек. МСЭ-R P.1622 | Методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем Земля-космос, работающих в диапазоне частот от 20 ТГц до 375 ТГц | Спутниковая оптическая связь | Из пункта в пункт | Потеря за счет поглощенияПотеря за счет рассеянияФоновый шумАмплитудное мерцание Угол паденияОтклонение лучаРассеяние луча | От 20 до 375 ТГц | Дальняя оптическая связь Земля-космос | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Длина волныВысота терминалаУгол места Параметры структуры турбулентности |

ТАБЛИЦА 1 (*продолжение*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| Рек. МСЭ-R P.1623 | Метод прогнозирования динамики замирания сигнала на трассах Земля-космос | Спутниковая | Из пункта в пункт | Продолжитель-ность замирания, спад замирания | От 10 до 50 ГГц | Любая практическая высота орбиты | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Частота Угол места Порог ослабления Ширина полосы фильтра |
| Рек. МСЭ-R Р.1812 | Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб "из пункта в зону" в диапазоне частот 30–6 000 МГц | Наземные службы | Из пункта в зону | Напряженность поля | От 30 до 6 000 МГц | Не уточняется, но до радио-горизонта и далее | От 1 до 50 | От 1 до 99 | Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.) | Данные о характере трассыЧастотаПроцентная доля времени Высота антенны ТхВысота антенны RxШирота и долгота TxШирота и долгота Rx Метеорологические данныеПоляризация |
| Рек. МСЭ-R Р.1814 | Методы прогнозирования, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве | Наземная оптическая связь | Из пункта в пункт | Потеря за счет поглощенияПотеря за счет рассеянияФоновый шумАмплитудное мерцание Рассеяние луча | От 20 до 375 ТГц | Предел отсутствует | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Длина волныВидимость (в тумане)Протяженность трассыПараметры структуры турбулентности |
| Рек. МСЭ-R P.1853 | Синтез временных рядов тропосферного ослабления | Наземная спутниковая | Из пункта в пункт | Ослабление в дожде для наземных трасс.Общее ослабление и тропосферное мерцание для трасс Земля-космос | 4–40 ГГц для наземных трасс4–55 ГГц для трасс Земля-космос | От 2 до 60 км для наземных трассГеостационар-ный спутник | Не применяется | Не применяется | Предел отсутствует | Метеорологические данные Частота Угол местаВысота земной станции Разделение и угол между местоположениями земных станций (для усиления разброса)Диаметр и эффективность антенны (для мерцания) |

ТАБЛИЦА 1 (*окончание*)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Название | Применение | Тип | Результат | Частота | Расстояние | % времени | % местополо-жений | Высота терминала | Входные данные |
| Рек. МСЭ-R P.2001 | Универсальная модель наземного распространения радиоволн для широкого применения в полосе частот 30 МГц – 50 ГГц | Наземные службы | Из пункта в пункт | Основные потери передачи | От 30 МГц до 50 ГГц | От 3 до 1 000 км | От 0,001 до 99,999 | Не применяется | < 8 000 м над средним уровнем моря, но около поверхности Земли, в тропосфере | Данные о характере трассыЧастотаПроцентная доля времениВысота антенны, усиление и азимутальное направление Высота антенны Rx, усиление и азимутальное направлениеШирота и долгота TxШирота и долгота RxПоляризация |
| Рек. МСЭ-R P.2041 | Прогнозирование затухания на трассе на линиях между воздушной платформой и космосом и между воздушной платформой и поверхностью Земли | На борту воздушного судна | Из пункта в пункт | Общее ослабление | От 1 до 55 ГГц | Любая высота | От 0,001 до 50 | Не применяется | Между поверхностью Земли и космосом | Метеорологические данные Частота Угол местаГотовностьВысота воздушной платформыДиаметр и эффективность антенны (для мерцания) |
| (1) Процентная доля времени сбоя; для определения готовности службы следует вычесть это значение из 100.(2) XPD – избирательность по кросс-поляризации. |

ТАБЛИЦА 2

Цифровые продукты МСЭ-R для методов прогнозирования распространения радиоволн

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рекомендация МСЭ-R | Описание | Разрешение координатной сетки | Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1) | Интерполяция по вероятности | Интерполяция переменной | Комментарии |
| P.452 | Медианная годовая Δ*N*Медианная годовая *N*0 | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.453 | Годовые и помесячные вероятности распределения влажностной составляющей приповерхностной рефракции (Nwet) | 0,75° × 0,75° | Билинейная | Логарифмическая | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| • Градиент рефракции в нижних 65 м атмосферы (N-единиц/км)• Градиент рефракции на высоте 1 км над поверхностью Земли (N-единиц/км)• Процент времени, для которого градиент рефракции в нижнем слое атмосферы толщиной 100 м < −100 N-единиц/км | 0,75° × 0,75° | Билинейная | Не определена | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| Данные поверхностных волноводов | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Не определена | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| Данные приподнятых водноводов | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Не определена | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| P.530 | LogK логарифм K%, геоклиматический фактор для среднего наихудшего месяца | 0,25° × 0,25° | Билинейная | Не определена | Линейная | См. Рекомендацию по применению и использованию этих наборов данных. |
| dN75 эмпирический прогноз увеличения рефракции среднего наихудшего месяца на 0,1% с высотой над самыми низкими 75 м атмосферы | 0,25° × 0,25° | Билинейная | Не определена | Линейная | См. Рекомендацию по применению и использованию этих наборов данных. |
| P.534 | foEs, превышаемой в течение годового процента времени | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Линейная | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.617 | Медианная годовая Δ*N*Медианная годовая *N*0 | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.678 | Карта климатического коэффициента | 0,5° × 0,5° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.834 | • Гармонические коэффициенты увеличения длины трассы на трассах Земля-космос• Гармонические коэффициенты функций отображения гидростатической и влажной составляющих | 1,5° × 1,5°5° × 5° | БилинейнаяНе требуется | Не определена | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |

ТАБЛИЦА 2 (*продолжение*)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рекомендация МСЭ-R | Описание | Разрешение координатной сетки | Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1) | Интерполяция по вероятности | Интерполяция переменной | Комментарии |
| P.835 | Экспериментальные данные о вертикальных атмосферных профилях (Приложение 2) | 353 места | Не требуется | Не применяется | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| Данные о вертикальных атмосферных профилях для прогнозирования погоды (Приложение 3) | 1,5° × 1,5° | Не определена | Не применяется | Не применяется | См. веб-страницу с программным обеспечением для расчета ионосферного и тропосферного распространения, а также радиошума |
| P.836 | Вероятность превышения общего объемного содержания водяных паров (%) (IWVC) | 1,125° × 1,125° | Билинейная(1) | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| Вероятность превышения плотности водяных паров на поверхности (%) (Rho) | 1,125° × 1,125° | Билинейная(1) | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| Приведенная высота водяных паров | 1,125° × 1,125° | Билинейная(1) | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| Топографическая высота (над средним уровнем моря) (км) | 0,5° × 0,5° | Бикубическая | Не применяется | Не применяется | См. Рекомендацию |
| P.837 | Среднемесячное общее количество дождевых осадков (мм) R0,01 (мм/ч) | 0,25° × 0,25°1,125° × 1,125° | БилинейнаяБилинейная | Не применяетсяНе применяется | Не применяетсяНе применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| Преобразование статистических данных об интенсивности дождевых осадков с различными значениями времени интегрирования (Приложение 2) | Не применяется | Не требуется | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.839 | Среднегодовая высота изотермы 0 °C (км) | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.840 | Годовые и месячные статистические данные (среднее значение, стандартное отклонение и CCDF) совокупного объема жидкой воды в облакеАппроксимация годового совокупного объема жидкой воды в облаке логарифмически нормальным распределением | 0,25° × 0,25° | Билинейная | Логарифмическая | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.1510 | Среднемесячная и среднегодовая температура поверхности  | 0,75° × 0,75° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |

ТАБЛИЦА 2 (*окончание*)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рекомендация МСЭ-R | Описание | Разрешение координатной сетки | Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1) | Интерполяция по вероятности | Интерполяция переменной | Комментарии |
| P.1511 | Топографическая высота (над средним уровнем моря) (км) | 0,08333° × 0,08333° | Бикубическая | Не применяется | Не применяется | В настоящей Рекомендации содержатся определения широты, долготы и высоты для Рекомендаций серии Р. Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| Гравитационная модель Земли версии 2008 г. (EGM2008) (м) | 0,08333° × 0,08333° | Бикубическая | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.1812 | Медианная годовая Δ*N*Медианная годовая *N*0 | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.1853 | Среднегодовое наземное давлениеСреднегодовая плотность водяного пара | 0,75° × 0,75° | Билинейная | Не применяется | Не применяется | WV\_Annual.txtP\_Annual.txt |
| P.2001 | Преломление и градиент приземного уровня в нижнем 1 км атмосферы | Несколько | Билинейная | Не применяется | Линейная | Используемые названия файлов указаны в соответствующем файле сведений Readme(2) |
| P.2001 и P.534 | Критическая частота для спорадического слоя E (F0Es) | 1,5° × 1,5° | Билинейная | Линейная | Линейная | FoEs50.txtFoEs10.txtFoEs01.txtFoEs0.1.txt |
| P.2145 | Годовые и месячные статистические данные (среднее значение, стандартное отклонение и CCDF) поверхностного давленияГодовые и месячные статистические данные (среднее значение, стандартное отклонение и CCDF) приземной температурыГодовые и месячные статистические данные (среднее значение, стандартное отклонение и CCDF) поверхностной плотности водяных паровГодовые и месячные статистические данные (среднее значение, стандартное отклонение и CCDF) суммарного содержания водяного параАппроксимация годового суммарного содержания водяного пара распределением Вейбулла | 0,25° × 0,25° | Билинейная | Логарифмическая | Линейная | См. Рекомендацию |
| P.2148 | Годовые статистические данные о скорости ветра на высоте 10 м над поверхностью Земли | 0,25° × 0,25° | Билинейная | Логарифмическая | Линейная | См. Рекомендацию |
| (1) Перед пространственной интерполяцией переменные в окружающих точках сетки приводятся к желаемой высоте в соответствии с процедурой масштабирования, изложенной в Рекомендации.(2) Файл Readme содержится в ZIP-файле (компоненты) на веб-странице, относящейся к этой Рекомендации. |

Для справки: на рисунке 1 показаны взаимосвязи между геофизическими картами (черный цвет) и эффектом распространения (белый цвет).

РИСУНОК 1



Приложение 1

# 1a Билинейная интерполяция на трапецеидальной сетке

*Дано*: значения *X* в четырех окружающих точках: , , и ; то есть , , и .

*Задача*: определить значение в промежуточной точке , используя билинейную интерполяцию.

Рисунок 2



*Решение*: определить две вспомогательные переменные, и :

и рассчитать:

.

# 1b Билинейная интерполяция на прямоугольной сетке

Рисунок 3



*Дано*: значения *I* в четырех окружающих точках сетки: *I*(*R*,*C*), *I*(*R*,*C*1), *I*(*R*1,*C*)и *I*(*R*1,*C*1), где *R*, *R*+ 1, *C* и *C*+ 1 – это целые числа, обозначающие номера строки и столбца.

*Задача*: определить *I*(*r,c*), где *r* является дробным числом, обозначающим номер строки между *R* и *R*+ 1, а *c* – дробным числом, обозначающим номер столбца между *C* и *C*+ 1, используя билинейную интерполяцию.

*Решение*: рассчитать:

 *I*(*r,c*) *I*(*R*,*C*)[(*R*1–*r*)(*C*1–*c*)]

*I*(*R*1,*C)* [(*r*–*R*)(*C*1*– c*)]

 *I*(*R*,*C**1*)[(*R*1*– r*)(*c*–*C*)]

*I*(*R* 1,*C**1*) [(*r – R*)(*c*–*C*)]

# 2 Бикубическая интерполяция

Рисунок 4



*Дано*: значения *I* в 16 окружающих точках сетки:

 *I*(*R*,*C*), *I*(*R*,*C*1), *I*(*R*,*C*2), *I*(*R*,*C*3),

 *I*(*R* 1,*C*), *I*(*R* 1,*C*1), *I*(*R* 1,*C*2), *I*(*R*1,*C*3),

 *I*(*R*2,*C*), *I*(*R*2,*C*1), *I*(*R*2,*C*2), *I*(*R*2,*C*3),

 *I(R*3,*C*), *I*(*R**C* 1), *I*(*R*3,*C* 2), *I*(*R*3,*C*3)

где *R*, *R*+ 1 и т. д.; и *C*, *C*+ 1 и т. д. – это целые числа*.*

*Задача*: рассчитать *I*(*r*,*c*), где *r* является дробным числом, обозначающим номер строки между *R*+ 1 и *R*+ 2, а *c* – дробным числом, обозначающим номер столбца между *C*+ 1 и *C*+ 2, используя бикубическую интерполяцию.

*Решение*

*Шаг 1*. Для каждой строки *X*, где *X*  {*R*, *R*  1, *R*  2, *R*  3}, рассчитать интерполяционное значение в желаемом дробном столбце *c* как:

 ,

где:

 

и

 *a*  –0,5.

*Шаг 2*. Рассчитать *I*(*r*,*c*), интерполируя одномерные интерполяции *RI*(*R*,*c*), *RI*(*R*1,*c*), *RI*(*R*2,*c*) и *RI*(*R*3,*c*) таким же образом, как и интерполяции строк.

# 3 Интегрирование методом квадратуры Гаусса

Интегрирование методом квадратуры Гаусса – это точное приближение к определенному интегралу, если подынтегральная функция *f*(*x*) хорошо аппроксимируется многочленом степени 2*n*-1 или менее в области интегрирования. Значение следует выбирать исходя из желательной точности приближения.

## 3.1 Обычный интеграл

Обычный интеграл может хорошо аппроксимироваться с помощью интегрирования методом квадратуры Гаусса, учитывая что:

где:

;

.

## 3.2 Двойной интеграл

Двойной интеграл возможно хорошо аппроксимировать с помощью интегрирования методом квадратуры Гаусса, учитывая что:

 ,

где:

;

;

;

## 3.3 Алгоритм расчета точек (узлов) и весов квадратуры Гаусса

С помощью этого алгоритма рассчитываются точки (узлы), , и веса, , для , где  – количество точек (узлов) квадратуры Гаусса. Переменная  – это точность системы с плавающей запятой[[1]](#footnote-1) машины. В машинах, поддерживающих арифметику с плавающей запятой IEEE, составляет примерно 2,2204e-16 при двойной точности. Функция округляет *x* до ближайшего целого числа, меньшего или равного

Шаг 1: рассчитать *.*

Повторить шаги 2–13 для *–.*

Шаг 2: рассчитать *.*

Шаг 3: рассчитатьи *.*

Повторить шаги 4–5 для *.*

Шаг 4: рассчитатьи *.*

Шаг 5: рассчитать *.*

Шаг 6: рассчитать *.*

Шаг 7: рассчитать *.*

Шаг 8: рассчитать *.*

Шаг 9: если, переходить к шагу 3, иначе – переходить к шагу 10*.*

Шаг 10: рассчитать *.*

Шаг 11: рассчитать *.*

Шаг 12: рассчитать *.*

Шаг 13: рассчитать *.*

Повторить шаг 14 для *–.*

Шаг 14: рассчитатьи.

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

1. Примеры значений $X\_{i}$, точек квадратуры Гаусса, и $W\_{i}$, весов квадратуры Гаусса, приведены в дополнительном продукте на веб-сайте цифровых продуктов 3-й Исследовательской комиссии МСЭ-R. [↑](#footnote-ref-1)