|  |
| --- |
| **Рекомендация МСЭ-R P.525-4**  **(08/2019)** |
| **Расчет ослабления в свободном пространстве** |
| **Серия P**  **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-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/en>, 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/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, 2020 г.

© ITU 2020

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.525-4

Расчет ослабления в свободном пространстве

(1978-1982-1994-2016-2019)

Сфера применения

В Рекомендации МСЭ-R P.525 представлены методы расчета ослабления в свободном пространстве.

Ключевые слова

Свободное пространство, ослабление, линии электросвязи

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

что распространение радиоволн в свободном пространстве является фундаментальным эталоном в радиотехнике,

рекомендует,

чтобы для расчета ослабления в свободном пространстве использовались методы, изложенные в Приложении.

Приложение

# 1 Введение

Применительно к целям радиосвязи свободное пространство определяется как абсолютный вакуум, который можно считать бесконечным во всех направлениях; таким образом распространение в свободном пространстве означает распространение радиоволн, излучаемых в свободном пространстве[[1]](#footnote-1).

Поскольку распространение радиоволн в свободном пространстве часто используется как эталон в других текстах, в данном Приложении приведены соответствующие формулы.

# 2 Основные формулы для линий электросвязи

Расчеты, связанные с распространением радиоволн в свободном пространстве, можно провести двумя различными способами, каждый из которых применяется к определенному типу служб.

## 2.1 Линии связи пункта с зоной

Если имеется передатчик, обслуживающий несколько приемников, размещенных случайным образом (радиовещание, подвижная служба), то в точке, расположенной на некотором соответствующем расстоянии от передатчика, электрическое поле рассчитывается по формуле

, (1)

где

*e*: среднеквадратичное значение напряженности поля (В/м) (см. Примечание 1);

*p*: эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.) передатчика в направлении рассматриваемой точки (Вт) (см. Примечание 2);

*d*: расстояние от передатчика до рассматриваемой точки (м).

Уравнение (1) часто заменяется уравнением (2), в котором используются практические единицы:

, (2)

где

*e*мВ/м: среднеквадратичное значение напряженности поля (мВ/м);

*p*кВт: эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.) передатчика в направлении рассматриваемой точки (кВт);

*d*км: расстояние от передатчика до рассматриваемой точки (км).

Для антенн, работающих в условиях свободного пространства, волнодвижущую силу можно рассчитать путем перемножения *e* и *d* в уравнении (1). Она измеряется в вольтах.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Если волна является эллиптически поляризованной и нелинейной и если составляющие электрического поля вдоль двух ортогональных осей обозначены как *ex* и *ey*, то левую часть уравнения (1) следует заменить на , и *ex* можно рассчитать, только если известно осевое отношение. В случае круговой поляризации *e* следует заменить на 

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В том случае если антенны расположены на уровне земли (как правило, в случае относительно низких частот) при вертикальной поляризации, обычно рассматривается излучение только в верхнем полупространстве. Если поверхность земли принимается плоской и идеально проводящей, значение плотности потока мощности для данной излучаемой мощности удваивается по сравнению с антенной в свободном пространстве. (Либо, если рассматривается напряженность поля, значение напряженности поля аналогичным образом увеличивается на 3 дБ.) Это должно учитываться при определении излучаемой мощности (и уже включено в Рекомендации МСЭ-R P.368 и МСЭ-R P.341, Приложение 3).

## 2.2 Линии связи пункта с пунктом

Для линии связи пункта с пунктом ослабление в свободном пространстве между изотропными антеннами, называемое также основными потерями передачи в свободном пространстве (обозначения *Lbf* или *Abf*), целесообразно рассчитывать следующим образом (см. Рекомендацию МСЭ-R P.341):

 дБ, (3)

где

*Lbf* : основные потери передачи в свободном пространстве (дБ);

*d*: расстояние;

λ: длина волны; и

*d* иλ выражены в одинаковых единицах.

Уравнение (3) можно также записать, используя вместо длины волны частоту:

*Lbf*  = 32,4 + 20 log *f* + 20 log *d* дБ, (4)

где

*f* : частота (МГц);

*d*: расстояние (км).

## 2.3 Соотношения между характеристиками плоской волны

Существуют также соотношения между характеристиками плоской волны (или волны, которую можно считать плоской) в точке

, (5)

где

*s*: плотность потока мощности (Вт/м2);

*e*: среднеквадратичное значение напряженности поля (В/м);

*pr*: мощность (Вт), излучаемая изотропной антенной, расположенной в данной точке;

λ: длина волны (м).

# 3 Основные потери передачи в свободном пространстве для радиолокационной системы (обозначения *Lbr* или *Abr*)

Радиолокационные системы представляют собой особый случай, так как потери в сигнале происходят при распространении как от передатчика до цели, так и от цели до приемника. В случае радиолокаторов, использующих общую антенну и для передатчика, и для приемника, основные потери передачи радиолокатора в свободном пространстве *Lbr* можно представить следующим образом:

*Lbr* = 103,4 + 20 log *f* + 40 log *d* – 10 log σ дБ, (6)

где

σ: поперечное сечение радиолокационной цели (м2);

*d*: расстояние от радиолокатора до цели (км);

*f*: частота системы (МГц).

Поперечное сечение объекта, являющегося радиолокационной целью, представляет собой отношение общей изотропной эквивалентной рассеиваемой мощности к плотности потока падающей мощности.

# 4 Формулы перевода

На основе распространения радиоволн в свободном пространстве можно использовать следующие формулы перевода:

напряженность поля при заданной изотропно излучаемой мощности передатчика:

*E* = *Pt* – 20 log *d* + 74,8; (7)

имеющаяся мощность, подводимая посредством сопряженно-согласованной изотропной антенны приемника при заданной напряженности поля:

*Pr* = *E* – 20 log *f* – 167,2; (8)

основные потери передачи в свободном пространстве при заданной изотропно излучаемой мощности передатчика и напряженности поля:

*Lbf*  = *Pt* – *E* + 20 log *f* + 167,2; (9)

плотность потока мощности при заданной напряженности поля:

*S* = *E* – 145,8, (10)

где

*Pt*: изотропно излучаемая мощность передатчика (дБ(Вт));

*Pr*: имеющаяся мощность, подводимая посредством сопряженно-согласованной изотропной антенны приемника (дБ(Вт));

*E*: напряженность электрического поля (дБ(мкВ/м));

*f*: частота (ГГц);

*d*: протяженность радиотрассы (км);

*Lbf* : основные потери передачи в свободном пространстве (дБ);

*S*: плотность потока мощности (дБ(Вт/м2)).

Следует заметить, что из уравнений (7) и (9) можно получить уравнение (4).

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

1. В электротехническом словаре Международной организации по стандартизации (ИСО) (электропедии) приводится более общее определение:

   Распространение в свободном пространстве – распространение электромагнитной волны в однородной идеальной диэлектрической среде, которую можно считать бесконечной во всех направлениях.

   ПРИМЕЧАНИЕ. – При распространении в свободном пространстве на некотором расстоянии от источника, определяемом размером источника и длиной волны, величина каждого вектора электромагнитного поля уменьшается в любом заданном направлении пропорционально обратной величине расстояния от источника. [↑](#footnote-ref-1)