

Международный союз электросвязи

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R Р.525-4**  
(08/2019)

**Расчет ослабления в свободном  
пространстве**

**Серия Р**  
**Распространение радиоволн**



Международный  
союз  
электросвязи

## Предисловие

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

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

## Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/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
<b>P</b>	<b>Распространение радиоволн</b>
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<sup>1</sup>.

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.

---

<sup>1</sup> 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.

### 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

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d}, \quad (1)$$

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:

$$e_{\text{мВ/м}} = 173 \frac{\sqrt{P_{\text{кВт}}}}{d_{\text{км}}}, \quad (2)$$

где

- $e_{\text{мВ/м}}$ : среднеквадратичное значение напряженности поля (мВ/м);
- $P_{\text{кВт}}$ : эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.) передатчика в направлении рассматриваемой точки (кВт);
- $d_{\text{км}}$ : 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  $e_x$  и  $e_y$ , то левую часть уравнения (1) следует заменить на  $\sqrt{e_x^2 + e_y^2} \cdot e_x$ , и  $e_x$  можно рассчитать, только если известно осевое отношение. В случае круговой поляризации  $e$  следует заменить на  $e\sqrt{2}$ .

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  $L_{bf}$  или  $A_{bf}$ ), целесообразно рассчитывать следующим образом (см. Рекомендацию МСЭ-R P.341):

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{дБ}, \quad (3)$$

где

- $L_{bf}$ : основные потери передачи в свободном пространстве (дБ);
- $d$ : расстояние;
- $\lambda$ : длина волны; и
- $d$  и  $\lambda$  выражены в одинаковых единицах.



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

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{дБ}, \quad (4)$$

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

$$s = \frac{e^2}{120\pi} = \frac{4\pi p_r}{\lambda^2}, \quad (5)$$

где

- $s$ : плотность потока мощности (Вт/м<sup>2</sup>);  
 $e$ : среднеквадратичное значение напряженности поля (В/м);  
 $p_r$ : мощность (Вт), излучаемая изотропной антенной, расположенной в данной точке;  
 $\lambda$ : длина волны (м).

### 3 Основные потери передачи в свободном пространстве для радиолокационной системы (обозначения $L_{br}$ или $A_{br}$ )

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  $L_{br}$  можно представить следующим образом:

$$L_{br} = 103,4 + 20 \log f + 40 \log d - 10 \log \sigma \quad \text{дБ}, \quad (6)$$

где

- $\sigma$ : поперечное сечение радиолокационной цели (м<sup>2</sup>);  
 $d$ : 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:

$$E = P_t - 20 \log d + 74,8; \quad (7)$$

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

$$P_r = E - 20 \log f - 167,2; \quad (8)$$

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

$$L_{bf} = P_t - E + 20 \log f + 167,2; \quad (9)$$

плотность потока мощности при заданной напряженности поля:

$$S = E - 145,8, \quad (10)$$

где

- $P_i$ : изотропно излучаемая мощность передатчика (дБ(Вт));
- $P_r$ : 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);
- $L_{bf}$ : основные потери передачи в свободном пространстве (дБ);
- $S$ : плотность потока мощности (дБ(Вт/м<sup>2</sup>)).

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

---