

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.525-2*

Расчет ослабления в свободном пространстве

(1978-1982-1994)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

а) что распространение радиоволн в свободном пространстве является основным эталонным понятием в радиотехнике,

рекомендует,

1 чтобы для расчета ослабления в свободном пространстве использовались методы, изложенные в Приложении 1.

Приложение 1

1 Введение

Поскольку распространение радиоволн в свободном пространстве часто используется как эталонное понятие 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 по закону случайного распределения (радиовещание, подвижная служба), то в точке, расположенной на некотором соответствующем расстоянии от передатчика, 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:

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

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

* 3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла в 2000 году в настоящую Рекомендацию редакционные поправки в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 44.

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 и работают на относительно низких частотах при вертикальной поляризации, обычно рассматривается излучение только в верхнем полупространстве. Это должно учитываться при определении э.и.и.м. (см. Рекомендацию МСЭ-R P.368).

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_0), целесообразно рассчитывать следующим образом:

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

где:

- L_{bf} : основные потери передачи в свободном пространстве (дБ)
- d : расстояние
- λ : длина волны, и
- d и λ 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/м²)
- e : среднеквадратичное значение напряженности поля (В/м)
- p_r : мощность (Вт), излучаемая изотропной антенной, расположенной в этой точке
- λ : длина волны (м).

3 Основные потери передачи в свободном пространстве для радиолокационной системы (обозначения: L_{br} или A_{0r})

Радиолокационные системы представляют собой особый случай, поскольку сигнал испытывает потери 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 записать следующим образом:

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

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:

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

Мощность, подводимая к изотропной антенне 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_t : изотропно излучаемая мощность передатчика (дБ(Вт))
 P_r : мощность, подводимая к изотропной антенне 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/м²)).

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