

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1240-1

**Методы прогнозирования основных МПЧ рабочих МПЧ
и траектории луча, разработанные МСЭ-R***

(Вопрос МСЭ-R 212/3)

(1997-2007)

Сфера применения

В данной Рекомендации излагаются методы предсказания максимально применимых частот (МПЧ) для ионосферных слоев.

Ассамблея радиосвязи,

учитывая,

a) что для проектирования ВЧ радиосхем, планирования служб и выбора полосы частот необходимы долгосрочные данные об эталонной ионосфере и методы прогнозирования распространения радиоволн;

b) что в Рекомендации МСЭ-R P.1239 представлены карты ионосферных характеристик,

рекомендует,

1 чтобы для прогнозирования основных и рабочих МПЧ использовались формулы, представленные в Приложении 1 (соответствующие определения приведены в Рекомендации МСЭ-R P.373);

2 чтобы для прогнозирования траектории луча использовались формулы, представленные в Приложении 2.

Приложение 1**Прогнозирование основных и рабочих МПЧ****1 Введение**

Представлены эмпирические формулы для расчета месячного медианного значения основной МПЧ для трассы распространения радиоволн.

За искомое значение МПЧ принимается наибольшее из значений основных МПЧ для мод распространения, соответствующих длине рассматриваемой трассы.

Приводится соотношение между рабочей и основной МПЧ и описывается компьютерная программа расчета основной МПЧ для трассы, рабочей МПЧ и оптимальной рабочей частоты для трассы любой длины при передаче из пункта в пункт.

* Компьютерные программы, связанные с процедурами прогнозирования и данными, описываемыми в настоящей Рекомендации, доступны в той части веб-сайта МСЭ-R, которая касается 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

2 Рассматриваемые моды

Рассматриваются следующие моды:

1F2	от 0 до d_{max}
Моды F2 более высокого порядка	свыше d_{max}
1F1	2000–3400 км
1E	0–2000 км
2E	2000–4000 км,

где максимальное расстояние по поверхности земли d_{max} (км) для односкачковой моды F2 определяется как:

$$d_{max} = 4780 + (12\,610 + 2140/x^2 - 49\,720/x^4 - 688\,900/x^6)(1/B - 0,303)$$

в этом уравнении:

$$B = M(3000)F2 - 0,124 + \left[[M(3000F2)^2] - 4 \right] \cdot \left[0,0215 + 0,005 \sin \left(\frac{7,854}{x} - 1,9635 \right) \right]$$

и $x = foF2/foE$ или 2, в зависимости от того, какая величина больше.

Используются характеристики ионосферы в средней точке трассы по дуге большого круга.

3 Прогнозирование основной МПЧ слоя F2

3.1 Расстояние D по поверхности земли до d_{max}

Основная МПЧ слоя F2 определяется следующим образом:

$$F2(D)МПЧ = \left[1 + \left(\frac{C_D}{C_{3000}} \right) (B - 1) \right] \cdot foF2 + \frac{f_H}{2} \left(1 - \frac{D}{d_{max}} \right),$$

где:

f_H : соответствующая гирочастота (см. Рекомендацию МСЭ-R P.1239)

и

$$C_D = 0,74 - 0,591 Z - 0,424 Z^2 - 0,090 Z^3 + 0,088 Z^4 + 0,181 Z^5 + 0,096 Z^6$$

в этом выражении $Z = 1 - 2D/d_{max}$

C_{3000} : значение C_D при $D = 3000$ км, где D – расстояние по дуге большого круга (км).

Вышеприведенные формулы применяются для основной МПЧ для х-волны при расстоянии ноль, для о-волны при расстоянии d_{max} и свыше и для некоторых составных волн при промежуточных расстояниях. Соответствующая основная МПЧ с о-волной дается для всех расстояний путем исключения последнего члена в f_H из первой формулы.

3.2 Расстояние D по поверхности земли свыше d_{max}

Значения $F2(d_{max})МПЧ$ определяются в двух контрольных точках, расположенных на расстояниях $d_0/2$ вдоль соединяющей эти терминалы дуги большого круга, где d_0 – длина скачка моды F2 низшего порядка. За МПЧ для трассы принимается меньшее из двух значений.

4 Прогнозирование основной МПЧ слоя F1

Ионосферное распространение посредством слоя F1 играет существенную роль при длине трасс передачи 2000–3400 км на средних и высоких широтах в летние месяцы. Для указанных расстояний передачи основная МПЧ слоя F1 определяется как произведение величины $foF1$ в средней точке трассы (см. Рекомендацию МСЭ-R P.1239) и M -фактора M_{F1} . Этот M -фактор был введен при вычислении методом лучевого трассирования плотности электронов в зависимости от высотных

профилей, полученных на основе репрезентативных ионограмм, записанных в полуденное время на средних и высоких широтах. Предполагается, что эти M -факторы применимы для всех значений зенитного угла солнца. M -фактор можно определить с помощью следующих числовых выражений:

$$M_{F1} = J_0 - 0,01 (J_0 - J_{100}) R_{12},$$

где:

$$\begin{aligned} J_0 &= 0,16 + 2,64 \times 10^{-3} D - 0,40 \times 10^{-6} D^2 \\ J_{100} &= 0,52 + 2,69 \times 10^{-3} D - 0,39 \times 10^{-6} D^2 \end{aligned}$$

и где D представляет собой расстояние по дуге большого круга в километрах в диапазоне от 2000 до 3400 км.

5 Прогнозирование основной МПЧ слоя E

5.1 Расстояние по поверхности земли до 2000 км

На трассах длиной до 2000 км важным фактором ионосферного распространения является однократное отражение от слоя E. Основную МПЧ слоя E для конкретной моды распространения можно определить путем умножения значения foE в середине трассы (см. Рекомендацию МСЭ-R P.1239) на M -фактор M_E . Этот M -фактор можно определить, основываясь на расчете траектории луча для параболической модели E-слоя при $h_m E = 110$ км, $u_m E = 20$ км и при условии, что влиянием магнитного поля Земли можно пренебречь, следующим образом:

$$M_E = 3,94 + 2,80 x - 1,70 x^2 - 0,60 x^3 + 0,96 x^4,$$

где:

$$x = \frac{D - 1150}{1150},$$

а D – расстояние вдоль дуги большого круга (км).

5.2 Расстояние на поверхности земли в диапазоне от 2000 до 4000 км

МПЧ слоя 2E для расстояний от 2000 до 4000 км принимается равной значению E(2000)МПЧ, выраженному через foE в середине трассы.

6 Прогнозирование рабочей МПЧ

Для целей прогнозирования рабочая МПЧ (см. Рекомендацию МСЭ-R P.373) в режиме распространения посредством моды F2 выражается через основную МПЧ. В таблице 1 дается отношение рабочей МПЧ к основной МПЧ для различных времен года, времени суток и значений мощности излучаемой передатчиком. Эти отношения могут использоваться в тех случаях, когда отсутствует конкретный опыт для рассматриваемой схемы. Когда рабочая МПЧ определяется с помощью моды E или F1, она принимается равной соответствующей основной МПЧ.

ТАБЛИЦА 1

Отношение медианы рабочей МПЧ к медиане основной МПЧ
для моды F2, R_{op}

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (дБВт)	Лето		Равноденствие		Зима	
	Ночь	День	Ночь	День	Ночь	День
≤ 30	1,20	1,10	1,25	1,15	1,30	1,20
> 30	1,25	1,15	1,30	1,20	1,35	1,25

7 Прогнозирование оптимальной рабочей частоты (ОРЧ)

Оптимальная рабочая частота (ОРЧ) (Рекомендация МСЭ-R P.373) оценивается через рабочую МПЧ с использованием коэффициента преобразования F_i , который принимается равным 0,95, если основная МПЧ для трассы определяется модой E или F1, и берется из таблицы 2 Рекомендации МСЭ-R P.1239, если основная МПЧ для трассы определяется модой F2.

8 Прогнозирование наиболее применимой частоты (МПЧ)

МПЧ (Рекомендация МСЭ-R P.373) оценивается через рабочую МПЧ с использованием коэффициента преобразования F_i , который устанавливается равным 1,05, если основная МПЧ для трассы определяется модой E или F1, и берется из таблицы 3 Рекомендации МСЭ-R P.1239, если основная МПЧ для трассы определяется модой F2.

9 Компьютерная программа

Процедура, описанная в настоящем Приложении, реализована в виде компьютерной программы MUFFY, которая позволяет предсказать для данной трассы распространения, месяца и числа солнечных пятен основную МПЧ, рабочую МПЧ и оптимальную рабочую частоту в зависимости от времени суток.

Приложение 2

Прогнозирование траектории луча

Для упрощенной оценки траектории наклонно падающих лучей можно предположить, что они отражаются от эффективной плоскости зеркала, расположенного на высоте h_r .

А именно:

$$x = foF2/foE \quad \text{и} \quad H = \frac{1490}{M(3000)F2 + \Delta M} - 316,$$

где:

$$\Delta M = \frac{0,18}{y-1,4} + \frac{0,096 (R_{12} - 25)}{150},$$

а $y = x$ или 1,8, в зависимости от того, какая из величин больше.

а) Для $x > 3,33$ и $x_r = f / foF2 \geq 1$, где f – частота, определяющая длину волны:

$h_r = h$ или 800 км, берется меньшая из величин,

где: $h = A_1 + B_1 2,4^{-a}$ для B_1 и $a \geq 0$

$= A_1 + B_1$ в противном случае

здесь: $A_1 = 140 + (H - 47) E_1$

$B_1 = 150 + (H - 17) F_1 - A_1$

$E_1 = -0,09707 x_r^3 + 0,6870 x_r^2 - 0,7506 x_r + 0,6$

F_1 таково, что:

$F_1 = -1,862 x_r^4 + 12,95 x_r^3 - 32,03 x_r^2 + 33,50 x_r - 10,91$ для $x_r \leq 1,71$

$F_1 = 1,21 + 0,2 x_r$ для $x_r > 1,71$,

а a меняется в зависимости от расстояния d и зоны молчания d_s следующим образом:

$a = (d - d_s) / (H + 140)$,

где: $d_s = 160 + (H + 43) G$

$G = -2,102 x_r^4 + 19,50 x_r^3 - 63,15 x_r^2 + 90,47 x_r - 44,73$ для $x_r \leq 3,7$

$G = 19,25$ для $x_r > 3,7$.

б) Для $x > 3,33$ и $x_r < 1$

$h_r = h$ или 800 км, берется меньшая из величин,

где: $h = A_2 + B_2 b$ для $B_2 \geq 0$

$= A_2 + B_2$ в противном случае

здесь: $A_2 = 151 + (H - 47) E_2$

$B_2 = 141 + (H - 24) F_2 - A_2$

$E_2 = 0,1906 Z^2 + 0,00583 Z + 0,1936$

$F_2 = 0,645 Z^2 + 0,883 Z + 0,162$,

где: $Z = x_r$ или 0,1, в зависимости от того, какая величина больше, а b меняется в зависимости от нормированного расстояния d_f , Z и H следующим образом:

$b = -7,535 d_f^4 + 15,75 d_f^3 - 8,834 d_f^2 - 0,378 d_f + 1$,

где: $d_f = \frac{0,115 d}{Z(H + 140)}$ или 0,65, берется меньшая из величин.

с) Для $x \leq 3,33$

$h_r = 115 + HJ + Ud$ или 800 км, берется меньшая величина,

где: $J = -0,7126 y^3 + 5,863 y^2 - 16,13 y + 16,07$

и $U = 8 \times 10^{-5} (H - 80) (1 + 11 y^{-2,2}) + 1,2 \times 10^{-3} H y^{-3,6}$.