

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R SF.675-4**  
(01/2012)

**Расчет максимальной плотности  
мощности (усредненной в полосе  
4 кГц или 1 МГц) несущей  
с угловой модуляцией**

**Серия SF**

**Совместное использование частот и координация  
между системами фиксированной спутниковой  
службы и фиксированной службы**



## 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 Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. 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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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	<b>Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы</b>
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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация  
Женева, 2012 г.

© ITU 2012

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 SF.675-4

**Расчет максимальной плотности мощности (усредненной в полосе 4 кГц или 1 МГц) несущей с угловой модуляцией**

(1990-1992-1993-1994-2012)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлен метод расчета максимальной плотности мощности разных типов несущих, усредненных в полосе 4 кГц или 1 МГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- а) что в целях координации и заявления от администраций требуется подготовить информацию, перечисленную в Приложениях 3 и 4 к Регламенту радиосвязи (РР);
- б) что одним из элементов информации, перечисленных в Приложениях 3 и 4 к РР, является максимальная плотность мощности на 1 Гц на входе антенны;
- с) что в Приложении 4 к РР предписывается, что максимальная плотность мощности несущей на 1 Гц усредняется по наихудшей полосе 4 кГц для частот ниже 15 ГГц и по наихудшей полосе 1 МГц для частот выше 15 ГГц;
- д) что необходимы обобщенные методы для расчета максимальной плотности мощности несущей с угловой модуляцией;
- е) что несущие слежения, телеметрии и управления (ТТ&С) в целом имеют характеристики модуляции и, следовательно, характеристики спектральной плотности, которые отличаются от характеристик других типов несущих,

*рекомендует,*

- 1** что для расчета усредненной в полосе 4 кГц максимальной плотности мощности несущей с угловой модуляцией, цифровой несущей или несущей слежения, телеметрии и управления (ТТ&С), следует использовать методы, описанные в Приложении 1;
- 2** что для расчета усредненной в полосе 4 кГц максимальной плотности мощности цифровой несущей или несущей ТТ&С следует использовать методы, описанные в Приложении 2;
- 3** что для определения максимальной спектральной плотности мощности, по согласованию с другими заинтересованными администрациями, необходимо следовать целям Резолюции 703 (Пересм. ВКР-07).

## Приложение 1

### Расчет максимальной плотности мощности (усредненной в полосе 4 кГц) несущей с угловой модуляцией

Ниже приведен метод расчета уровня мощности в наихудшей полосе 4 кГц (Вт/4 кГц). Для получения требуемой РР плотности мощности на 1 Гц полученное значение нужно разделить на 4000.

#### 1 ЧМ несущая

##### 1.1 ЧМ несущая, модулированная сигналом многоканальной телефонии

Максимальная спектральная плотность мощности при полной загрузке в основной полосе частот определяется – в зависимости от характера модуляции – либо остатком несущей, либо пиками непрерывной части спектра.

Мощность остатка несущей определяется выражением:

$$P_t \cdot e^{-\psi_0} \quad \text{Вт}, \quad (1)$$

где:

$$\psi_0 = \frac{m^2}{\epsilon} \left[ C_0 + C_2 \cdot \epsilon + \frac{C_4}{3} (\epsilon + \epsilon^2 + \epsilon^3) \right]. \quad (2)$$

В уравнении (2)  $m$  является среднеквадратическим индексом многоканальной модуляции, а постоянные  $C_0$ ,  $C_2$  и  $C_4$  описывают преобладающие характеристики предискажений в общем выражении для предискажений:

$$p(f/f_h) = C_0 + C_2(f/f_h)^2 + C_4(f/f_h)^4, \quad (3)$$

где  $f$  – конкретная рассматриваемая частота основной полосы частот, выраженная в тех же единицах, что и  $f_h$ . В диапазоне  $\epsilon \leq f/f_h \leq 1$  характеристика предискажений хорошо аппроксимируется выражением:

$$p(f/f_h) = 0,4 + 1,35(f/f_h)^2 + 0,75(f/f_h)^4. \quad (4)$$

Тогда для системы с предискажениями:

$$\psi_0 \approx \frac{m^2}{\epsilon} (0,4 + 1,6 \epsilon + 0,25 \epsilon^2 + 0,25 \epsilon^3), \quad (5)$$

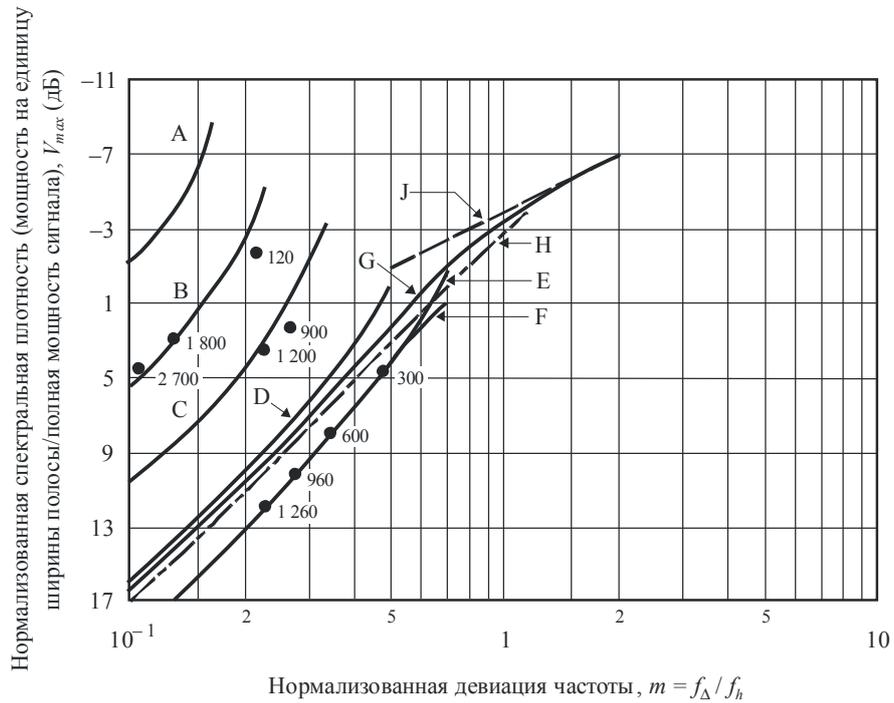
где  $m = f_\Delta/f_h$ .

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для подробной координации администрациям следует представлять все имеющиеся подробные сведения о форме спектра и значениях коэффициентов, использованных в уравнениях (2) и (3).

Приблизительное значение максимальной спектральной плотности мощности в непрерывной части спектра может быть получено по рисункам 1 и 2.

РИСУНОК 1

Максимальная спектральная плотность сигнала (распределенная составляющая), модулированная по частоте гауссовым шумом



Кривые А:  $\psi_0 = 0,1$

В:  $\psi_0 = 0,2$

С:  $\psi_0 = 0,4$

Д:  $\psi_0 = 1,0$

Е:  $\psi_0 = 2,0$

Ф:  $\psi_0 = 4,0$

Г:  $\psi_0 = \infty$

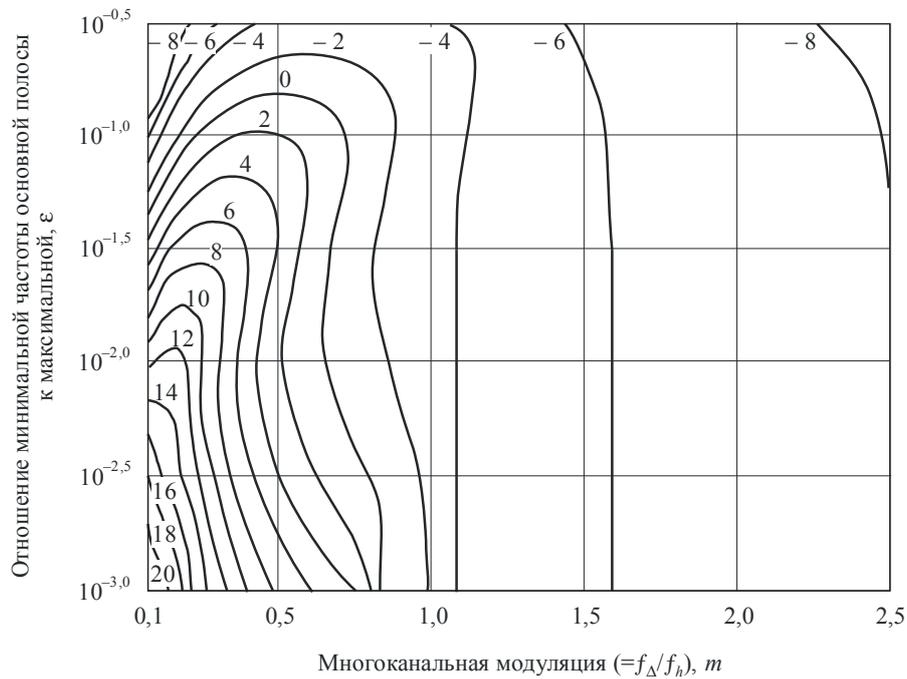
Н: аппроксимация при малой девиации

Ј: аппроксимация при большой девиации

- Значения для стандартных радиорелейных систем (согласно обозначениям) даны для следующих пределов основной полосы частот:  
 120 каналов 60–552 кГц  
 960 каналов 60–4 028 кГц  
 1 260 каналов 60–5 636 кГц

РИСУНОК 2

Контуры равных значений  $V_{max}$  (максимальной спектральной плотности) сигнала ЧРК-ЧМ



SF.0675-02

В уравнениях и на рисунках символы имеют следующие значения:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$f_\Delta$ : среднеквадратическая девиация многоканального сигнала (Гц);

$$f_\Delta \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10 \log N_c)/20} & \text{при } N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4 \log N_c)/20} & \text{при } 240 > N_c \geq 60 \\ f_d \times 10^{(2,6+2 \log N_c)/20} & \text{при } 60 > N_c \geq 12 \end{cases}$$

$$\text{или } \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10 \log N_c)/20} & \text{при } N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4 \log N_c)/20} & \text{при } 12 \leq N_c < 240 \end{cases}$$

$f_d$ : среднеквадратическая девиация испытательного тонового сигнала (Гц);

$N_c$ : число каналов;

$f_h$ : верхняя частота основной полосы (Гц);

$f_1$ : нижняя частота основной полосы (Гц);

$m$ : индекс модуляции сигналов многоканальной телефонии ( $= f_\Delta/f_h$ );

$\varepsilon = f_1/f_h$ ;

$V_{max} = W_{max} f_h/P_t$ ;

$W_{max}$ : максимальная спектральная плотность мощности на единицу ширины полосы (Вт/Гц).

Для несущих, у которых  $1 < N \leq 12$ , максимальная плотность мощности в полосе 4 кГц аппроксимируется с помощью выражения:

$$P_t \cos^2 \frac{m_b}{1,5} \quad \text{Вт/4 кГц} \quad \text{при } m_b < 1, \quad (6)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$m_b$ : пиковый индекс модуляции (в радианах), соответствующий испытательному тоновому сигналу 0 дБм в верхнем канале основной полосы частот.

## 1.2 ЧМ несущая, модулированная сигналом многоканальной телефонии и сигналом с распределением энергии, имеющим треугольную форму, с постоянной амплитудой

Системы, в которых используется сигнал с распределением энергии, имеющим треугольную форму, обычно проектируются так, чтобы максимальная спектральная плотность мощности в полосе 4 кГц с центром на несущей частоте поддерживалась в пределах 3 дБ относительно величины, соответствующей полной нагрузке.

Спектральная плотность мощности с центром на несущей частоте определяется выражением:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4\,000 \quad \text{Вт/4 кГц}, \quad (7)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$\Delta F$ : размах девиации частоты, вызванный сигналом с распределением энергии (Гц).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В уравнении (7) предполагается использование сигнала с энергией, распределение которой имеет идеально линейную треугольную форму.

## 1.3 ЧМ несущая, моделированная телевизионным видеосигналом

– Для случая, когда сигнал с распределением энергии треугольной формы накладывается на видеосигнал, максимальная плотность мощности на полосу шириной 4 кГц в наихудшем случае определяется уравнением:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4\,000 \quad \text{Вт/4 кГц}, \quad (8)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$\Delta F$ : размах девиации частоты, вызванный сигналом с распределением энергии (Гц).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В уравнении (8) предполагается использование сигнала с энергией, распределение которой имеет идеально линейную треугольную форму. Такое предположение для случая современных систем передачи ТВ-ЧМ сигналов приводит к появлению пренебрежимо малых ошибок.

– Для случая, когда отсутствует модуляция видеосигналом или сигналом с распределением энергии, максимальная плотность мощности на полосу шириной 4 кГц в наихудшем случае определяется уравнением:

$$P_t \quad \text{Вт/4 кГц.}$$

## 2 Несущая, модулированная по фазе (ФМ) сигналом многоканальной телефонии

В случае, когда ФМ несущая модулируется сигналом многоканальной телефонии, максимальная плотность мощности располагается на центральной частоте несущей. Это справедливо, если верхняя частота основной полосы намного превышает нижнюю частоту этой полосы. При этом условии выражение для вычисления максимальной плотности мощности принимает следующий вид:

– при  $\beta\sigma_a \geq 2$ : 
$$\frac{P_t}{(\beta\sigma_a)f_h} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \times 4000 \quad \text{Вт/4 кГц;} \quad (9)$$

– при  $\beta\sigma_a < 2$ , максимальная плотность мощности на полосе 4 кГц является суммой двух следующих величин:

– для непрерывного спектра:  $P_t \times S(0) \times 4000 \quad \text{Вт/4 кГц;} \quad (10)$

значение  $S(0)$  может быть найдено из рисунка 3, на котором приведены значения отношения общей мощности несущей к плотности мощности в полосе шириной  $f_h$  (Гц).

– остаток несущей:  $P_t \exp \{-(\beta\sigma_a)^2\} \quad \text{Вт,} \quad (11)$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$\beta\sigma_a$ : девиация фазы многоканального сигнала (рад);

$\beta$ : среднеквадратическая девиация фазы испытательного тонового сигнала (рад);

$\sigma_a$ : коэффициент загрузки сигнала многоканальной телефонии

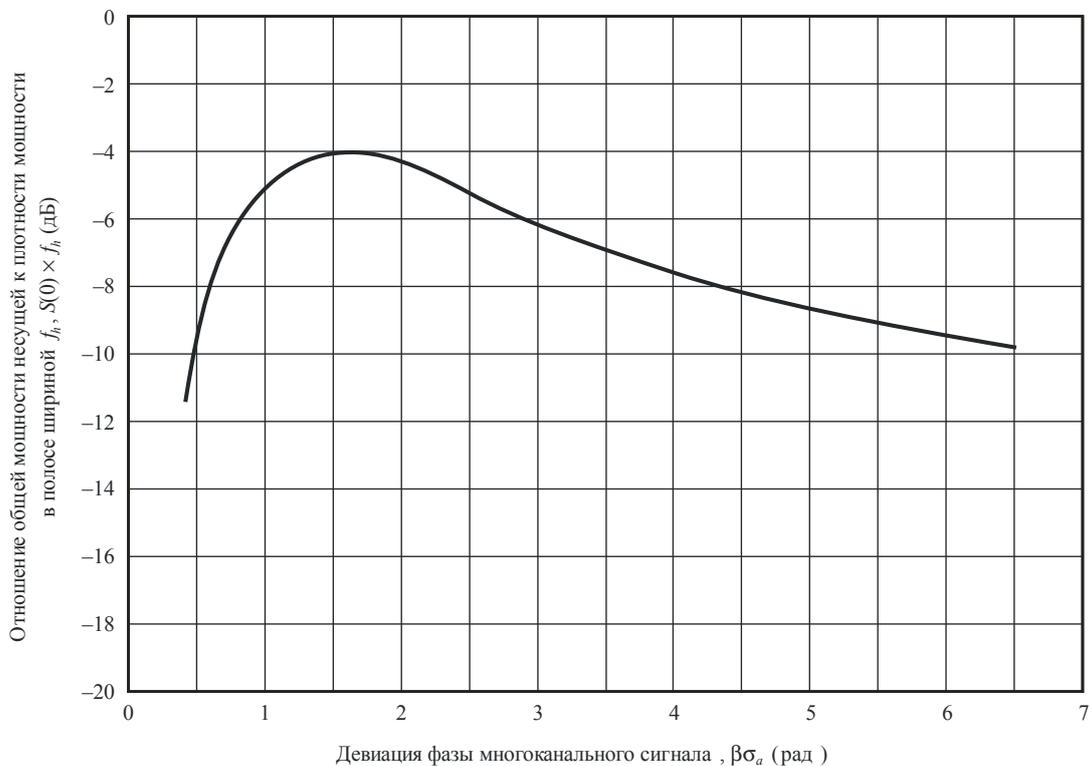
$$\sigma_a = \begin{cases} 10^{(-15+10 \log N)/20} & \text{при } N \geq 240 \\ 10^{(-1+4 \log N)/20} & \text{при } N < 240 \end{cases}$$

$N$ : число каналов;

$f_h$ : верхняя частота основной полосы (Гц).

РИСУНОК 3

Плотность мощности на центральной частоте непрерывного энергетического спектра ФМ несущей в полосе шириной  $f_h$



### 3 Цифровая несущая, необходимая ширина полосы которой превышает 4 кГц

Максимальная плотность мощности на 1 Гц цифровой несущей определяется следующим образом:

$$P_o = P_t / B, \quad (12)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$B$ : необходимая ширина полосы цифрового излучения (Гц).

Максимальная плотность мощности на 4 кГц в наихудшем случае определяется путем умножения результата уравнения (12) на  $4 \times 10^3$  следующим образом:

$$P_{4 \text{ кГц}} = P_o * 4 \times 10^3 \text{ (Вт/4 кГц)}. \quad (13)$$

### 4 Цифровая несущая, необходимая ширина полосы которой менее 4 кГц

Для случаев с несколькими идентичными несущими с шириной полосы менее 4 кГц, когда известно, что любые 4 кГц не будут полностью заполнены такими несущими, следует применять нижеприведенное уравнение:

$$P_{4 \text{ кГц}} = (P_t * N) \text{ (Вт/4 кГц)}, \quad (14)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$N$ : максимальное число несущих или частей несущих с шириной полосы менее 4 кГц, занимающих любую данную полосу 4 кГц.

Уравнение (14) может быть обобщено для случая, когда известно, что любая данная полоса 4 кГц будет занята несущими нескольких разных типов с шириной полосы менее 4 кГц, путем суммирования значений мощности несущих разных отдельных типов, которые будут занимать полосу 4 кГц, и предполагая, что эта общая мощность является мощностью на полосу 4 кГц.

### 5 Несущая ТТ&С

Если присутствуют узкополосные несущие ТТ&С в соответствии с п. 1.23 РР в полосах частот ниже 15 ГГц следует особенно тщательно подходить к оценке максимальной мощности этих несущих на полосу 4 кГц. Это обуславливается тем фактом, что такие несущие могут иметь несколько особых и важных спектральных составляющих. Вследствие этого при выборе наихудшей полосы шириной 4 кГц, с тем чтобы оценить максимальную плотность мощности, важно учитывать фактическую спектральную форму несущих ТТ&С.

## Приложение 2

### Расчет максимальной плотности мощности (усредненной в полосе 1 МГц) цифровой несущей и несущей ТТ&С

Ниже приведен метод расчета уровня мощности в наихудшей полосе 1 МГц (Вт/МГц).

#### 1 Цифровая несущая, необходимая ширина полосы которой превышает 1 МГц

Максимальная плотность мощности на 1 Гц цифровой несущей определяется следующим образом:

$$P_o = P_t / B \quad (\text{Вт/Гц}), \quad (15)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей (Вт);

$B$ : необходимая ширина полосы цифрового излучения (Гц).

Максимальная плотность мощности на 1 МГц в наихудшем случае определяется путем умножения результата уравнения (15) на  $1 \times 10^6$  следующим образом:

$$P_{1 \text{ МГц}} = P_o * 1 \times 10^6 \quad (\text{Вт/МГц}). \quad (16)$$

#### 2 Цифровая несущая, необходимая ширина полосы которой менее 1 МГц

Следует заметить, что для цифровых несущих, необходимая ширина полосы которых менее 1 МГц, определение следует проводить с учетом максимального числа несущих и частей несущих, которые будут функционировать в любой полосе шириной 1 МГц. Если максимальное число несущих неизвестно, следует принять предположение, что эталонная полоса шириной 1 МГц будет заполнена несколькими идентичными несущими. При таком допущении уравнения (15) и (16) обеспечивают оценку максимальной плотности мощности на 1 МГц для наихудшего случая. Для случаев несущих, необходимая ширина полосы которых менее 1 МГц, когда известно, что любой 1 МГц не будет полностью заполнен несколькими идентичными несущими, для расчета максимальной плотности мощности на 1 МГц следует применять нижеприведенное уравнение:

$$P_{1 \text{ МГц}} = (P_t * N) \quad (\text{Вт/МГц}), \quad (17)$$

где:

$P_t$ : общая мощность одной несущей (Вт);

$N$ : максимальное число несущих или частей несущих с шириной полосы менее 1 МГц, занимающих любую данную полосу 1 МГц.

Уравнение (17) может быть обобщено для случая, когда известно, что любая данная полоса 1 МГц будет занята несколькими несущими разных типов с необходимой шириной полосы менее 1 МГц путем суммирования значений мощности несущих разных отдельных типов, которые будут занимать полосу 1 МГц, и предполагая, что эта общая мощность является мощностью на полосу 1 МГц.

#### 3 Несущая ТТ&С

Если присутствуют узкополосные несущие ТТ&С в соответствии с п. 1.23 РР расчет максимальной плотности мощности на 1 МГц может привести к завышенной оценке мощности потенциальных помех. Это обуславливается тем фактом, что если в данном частотном присвоении используется одна несущая ТТ&С, необходимая ширина полосы которой менее 1 МГц, простое масштабирование мощности одной несущей ТТ&С до полосы 1 МГц путем применения отношения значений ширины полосы приведет к получению уровня мощности, превышающему саму несущую ТТ&С. В таких случаях потенциальные помехи, создаваемые несущей ТТ&С могут быть оценены более точно, если

признать, что в большинстве случаев в данной полосе 1 МГц будет передаваться только одна несущая ТТ&С.

В таком случае максимальная плотность мощности на 1 МГц для несущей ТТ&С, необходимая ширина полосы которой менее 1 МГц, определяется следующим образом:

$$P_t \quad (\text{Вт/МГц}), \quad (18)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей ТТ&С (Вт).

Для случая несущей ТТ&С, необходимая ширина полосы которой более 1 МГц, но менее 1,5 МГц, максимальная плотность мощности на 1 МГц определяется следующим образом:

$$P_t \times (1 \times 10^6/B) \quad (\text{Вт/МГц}), \quad (19)$$

где:

$P_t$ : общая мощность несущей ТТ&С (Вт);

$B$ : необходимая ширина полосы сигнала ТТ&С, превышающая 1 МГц (Гц).

---