

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1138-2

**Определение необходимой ширины полосы частот с примерами ее расчета и соответствующими примерами обозначения излучений**

(1995-2007-2008)

**Сфера применения**

Настоящая Рекомендация служит основой для определения необходимой ширины полосы излучений по амплитуде, частоте и импульсной модуляции для различных видов сигнала. Представляются также примерные расчеты и обозначения излучений.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что присвоение частот требует определения необходимой ширины полосы излучений;
- b) что необходимая ширина полосы является одним из ключевых элементов данных всех автоматизированных систем управления радиочастотным спектром,

*рекомендует,*

- 1 чтобы формулы, приведенные в Приложении 1, использовались при расчетах необходимой ширины полосы, когда этого требует Регламент радиосвязи (РР).

**Приложение 1****Определение необходимой ширины полосы частот с примерами ее расчета и соответствующими примерами обозначения излучений**

- 1 Необходимая ширина полосы частот не является единственной характеристикой излучения, которую следует учитывать при оценке помех, которые могут быть созданы этим излучением.

- 2 При представлении формул в таблице использовались следующие термины:

- $B_n$ : необходимая ширина полосы частот (Гц);
- $B$ : скорость телеграфирования (Бод);
- $N$ : максимально возможное число черно/белых элементов, передаваемых в секунду при факсимильной передаче;
- $M$ : максимальная частота модуляции (Гц);
- $C$ : частота поднесущей (Гц);
- $D$ : пиковая девиация частоты, т. е. половина разности между максимальной и минимальной величинами мгновенной частоты. Под мгновенной частотой (Гц) подразумевается скорость изменения фазы (рад), деленная на  $2\pi$ ;
- $t$ : длительность импульса (с) по половинной амплитуде;

- $t_r$ : время нарастания импульса (с) от 10% до 90% амплитуды;
- $K$ : суммарный численный коэффициент, меняющийся в зависимости от характера излучения и от допустимого искажения сигнала. Если используется сигнал с множеством несущих и ортогональным частотным разделением,  $K$  является количеством активных поднесущих, как это определено в уравнении (52) в Рекомендации МСЭ-R SM.328;
- $N_c$ : количество каналов в групповой полосе частот радиосистемы, использующей многоканальное уплотнение;
- $f_p$ : частота поднесущей пилот-сигнала непрерывности (Гц) (непрерывный сигнал, используемый для контроля работы систем с частотным уплотнением);
- $N_s$ : частотное разнесение между двумя поднесущими (кГц).

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
<b>I БЕЗ МОДУЛИРУЮЩЕГО СИГНАЛА</b>			
Излучение немодулированных колебаний	–	–	NONE
<b>II АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ</b>			
<b>1 Сигнал с информацией в квантованной или цифровой форме</b>			
Телеграфия незатухающими колебаниями, код Морзе	$B_n = BK$ $K = 5$ для линий, подверженных замираниям $K = 3$ для линий без замираний	25 слов в минуту $B = 20$ , $K = 5$ Ширина полосы: 100 Гц	100HA1AAN
Телеграфия с амплитудной манипуляцией тонально модулированной несущей, код Морзе	$B_n = BK + 2M$ $K = 5$ для линий, подверженных замираниям $K = 3$ для линий без замираний	25 слов в минуту $B = 20$ , $M = 1\ 000$ , $K = 5$ Ширина полосы: 2 100 Гц = 2,1 кГц	2K10A2AAN
Сигнал избирательного вызова с использованием последовательного одночастотного кодирования, передача на одной боковой полосе, полная несущая	$B_n = M$	Максимальная частота кодирования: 2 110 Гц $M = 2\ 110$ Ширина полосы: 2 110 Гц = 2,11 кГц	2K11H2BFN
Буквопечатающая телеграфия с использованием частотно-манипулированной поднесущей с исправлением ошибок; передача на одной боковой полосе, подавленная несущая (одноканальная)	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{B}{2}$	$B = 50$ $D = 35$ Гц (сдвиг 70 Гц) $K = 1,2$ Ширина полосы: 134 Гц	134HJ2BCN
Многоканальная тональная телеграфия с исправлением ошибок, ряд каналов с временным уплотнением, передача на одной боковой полосе, ослабленная несущая	$B_n =$ высшая центральная частота + $M + DK$ $M = \frac{B}{2}$	15 каналов; высшая центральная частота: 2 805 Гц $B = 100$ $D = 42,5$ Гц (сдвиг 85 Гц) $K = 0,7$ Ширина полосы: 2 885 Гц = 2,885 кГц	2K89R7BCW
<b>2 Телефония (коммерческое качество)</b>			
Телефония двухполосная (одноканальная)	$B_n = 2M$	$M = 3\ 000$ Ширина полосы: 6 000 Гц = 6 кГц	6K00A3EJN
Однополосная телефония с полной несущей (одноканальная)	$B_n = M$	$M = 3\ 000$ Ширина полосы: 3 000 Гц = 3 кГц	3K00H3EJN
Однополосная телефония с подавленной несущей (одноканальная)	$B_n = M$ – низшая частота модуляции	$M = 3\ 000$ Низшая частота модуляции = 300 Гц Ширина полосы: 2 700 Гц = 2,7 кГц	2K70J3EJN

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
2 Телефония (коммерческое качество) ( <i>продолж.</i> )			
Телефония с использованием отдельного ЧМ сигнала для регулирования уровня демодулированного речевого сигнала, передача на одной боковой полосе с ослабленной несущей (Линкомпекс) (одноканальная)	$B_n = M$	Максимальная частота управления = 2 990 Гц $M = 2\ 990$ Ширина полосы: 2 990 Гц = 2,99 кГц	2K99R3ELN
Однополосная телефония с обеспечением секретности, с подавленной несущей (два или несколько каналов)	$B_n = N_c M$ – низшая частота модуляции в самом нижнем канале	$N_c = 2$ $M = 3\ 000$ Низшая частота модуляции = 250 Гц Ширина полосы: 5 750 Гц = 5,75 кГц	5K75J8EKF
Телефония с передачей на независимой боковой полосе (два или несколько каналов)	$B_n =$ сумма $M$ для каждой боковой полосы	Два канала $M = 3\ 000$ Ширина полосы: 6 000 Гц = 6 кГц	6K00B8EJN
3 Звуковое радиовещание			
Двухполосное звуковое радиовещание	$B_n = 2M$ $M$ может изменяться в пределах от 4 000 до 10 000 в зависимости от требуемого качества	Речь и музыка $M = 4\ 000$ Ширина полосы: 8 000 Гц = 8 кГц	8K00A3EGN
Однополосное звуковое радиовещание с ослабленной несущей (одноканальное)	$B_n = M$ $M$ может изменяться в пределах от 4 000 до 10 000 в зависимости от требуемого качества	Речь и музыка $M = 4\ 000$ Ширина полосы: 4 000 Гц = 4 кГц	4K00R3EGN
Однополосное звуковое радиовещание с подавленной несущей	$B_n = M$ – низшая частота модуляции	Речь и музыка $M = 4\ 500$ Низшая частота модуляции = 50 Гц Ширина полосы: 4 450 Гц = 4,45 кГц	4K45J3EGN
4 Телевидение			
Телевидение, изображение и звуковое сопровождение	Ширина полосы обычных телевизионных систем указывается в соответствующих документах МСЭ-R	Число строк: 625 Номинальная ширина полосы видеосигнала = 5 МГц Размещение звуковой несущей по отношению к видеонесущей: 5,5 МГц Общая ширина полосы сигналов изображения: 6,25 МГц Ширина полосы ЧМ звукового сигнала, включая защитные полосы: 750 кГц Ширина полосы по радиочастоте: 7 МГц	6M25C3F -- 750KF3EGN
5 Факсимиле			
Аналоговое факсимиле с использованием ЧМ поднесущей однополосного излучения с ослабленной несущей, монохромное	$B_n = C + \frac{N}{2} + DK$ $K = 1,1$ (обычно)	$N = 1\ 100$ в соответствии с показателем развертки 352 и скоростью вращения барабана 60 оборотов в минуту. Показатель развертки – это произведение диаметра барабана и числа линий, приходящихся на единицу длины. $C = 1\ 900$ $D = 400$ Гц Ширина полосы: 2 890 Гц = 2,89 кГц	2K89R3CMN
Аналоговое факсимиле; частотная модуляция звуковой поднесущей, которая модулирует основную несущую, однополосная передача с подавленной несущей	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{N}{2}$ $K = 1,1$ (обычно)	$N = 1\ 100$ $D = 400$ Гц Ширина полосы: 1 980 Гц = 1,98 кГц	1K98J3C --

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
6 Сложные излучения			
Двухполосная ретрансляция телевидения	$B_n = 2C + 2M + 2D$	Полоса видеосигнала ограничена 5 МГц, звуковой сигнал передается на ЧМ поднесущей 6,5 МГц, девиация поднесущей = 50 кГц: $C = 6,5 \times 10^6$ $D = 50 \times 10^3$ Гц $M = 15\ 000$ Ширина полосы: $13,13 \times 10^6$ Гц = 13,13 МГц	13M1A8W --
Радиорелейная система с частотным уплотнением, двухполосная передача	$B_n = 2M$	10 телефонных каналов, занимающих групповую полосу от 1 до 164 кГц $M = 164\ 000$ Ширина полосы: 328 000 Гц = 328 кГц	328KA8E --
Двухполосное излучение VOR с передачей звукового сигнала (VOR: ОБЧ всенаправленный радиомаяк)	$B_n = 2C_{max} + 2M + 2DK$ $K = 1$ (обычно)	Основная несущая модулируется: – поднесущей 30 Гц; – несущей, создаваемой тональным сигналом 9 960 Гц; – телефонным каналом; – манипулированным тонсигналом 1 020 Гц для непрерывного опознавания кодом Морзе. $C_{max} = 9\ 960$ $M = 30$ $D = 480$ Гц Ширина полосы: 20 940 Гц = 20,94 кГц	20K9A9WWF
Передача на независимых боковых полосах нескольких телеграфных каналов с исправлением ошибок, а также нескольких телефонных каналов с обеспечением секретности; частотное уплотнение	$B_n =$ сумма $M$ для каждой боковой полосы	Как правило, составные системы работают по стандартным частотным планам (например, Рек. МСЭ-R F.348). Для 3 телефонных каналов и 15 телеграфных каналов требуется полоса шириной 12 000 Гц = 12 кГц	12KOB9WWF
7 Стандартная частота и сигналы времени			
7.1 Высокая частота (голос)			
Голосовые сообщения, двухполосное излучение	$B_n = 2M$	Речь $M = 4\ 000$ Ширина полосы: 8 000 Гц = 8 кГц	8K00A3XGN
7.2 Высокая частота (код времени)			
Код времени как телеграфия	$B_n = BK + 2M$	$B = 1/c$ $M = 1$ $K = 5$ Ширина полосы: 7 Гц	7H00A2XAN
7.3 Низкая частота (код времени)			
Код времени как телеграфия	$B_n = BK + 2M$	$B = 1/c$ $M = 1$ $K = 3$ Ширина полосы: 5 Гц	5H00A2XAN

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
<b>III-A ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ</b>			
<b>1 Сигнал с информацией в квантованной или цифровой форме</b>			
Телеграфия без исправления ошибок (одноканальная)	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{B}{2}$ $K = 1,2$ (обычно)	$B = 100$ $D = 85$ Гц (сдвиг 170 Гц) Ширина полосы: 304 Гц	304HF1BBN
Узкополосная буквопечатающая телеграфия с исправлением ошибок (одноканальная)	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{B}{2}$ $K = 1,2$ (обычно)	$B = 100$ $D = 85$ Гц (сдвиг 170 Гц) Ширина полосы: 304 Гц	304HF1BCN
Сигнал избирательного вызова	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{B}{2}$ $K = 1,2$ (обычно)	$B = 100$ $D = 85$ Гц (сдвиг 170 Гц) Ширина полосы: 304 Гц	304HF1BCN
Дуплексное четырехчастотное телеграфирование	$B_n = 2M + 2DK$ $B$ : скорость телеграфирования в бодах в канале с наибольшей скоростью. Если каналы синхронизированные: $M = \frac{B}{2}$ (в противном случае $M = 2B$ ) $K = 1,1$ (обычно)	Разнос между соседними частотами = 400 Гц Синхронизированные каналы $B = 100$ $M = 50$ $D = 600$ Гц Ширина полосы: 1 420 Гц = 1,42 кГц	1K42F7BDX
<b>2 Телефония (коммерческого качества)</b>			
Коммерческая телефония	$B_n = 2M + 2DK$ $K = 1$ (обычно, но в некоторых случаях может потребоваться большее значение)	В среднем для коммерческой телефонии, $D = 5\ 000$ Гц $M = 3\ 000$ Ширина полосы: 16 000 Гц = 16 кГц	16K0F3EJN
<b>3 Звуковое радиовещание</b>			
Звуковое радиовещание	$B_n = 2M + 2DK$ $K = 1$ (обычно)	Моно $D = 75\ 000$ Гц $M = 15\ 000$ Ширина полосы: 180 000 Гц = 180 кГц	180KF3EGN
<b>4 Факсимиле</b>			
Факсимиле с непосредственной частотной модуляцией несущей; черно-белое	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{N}{2}$ $K = 1,1$ (обычно)	$N = 1\ 100$ элементов в секунду $D = 400$ Гц Ширина полосы: 1 980 Гц = 1,98 кГц	1K98F1C --
Аналоговое факсимиле	$B_n = 2M + 2DK$ $M = \frac{N}{2}$ $K = 1,1$ (обычно)	$N = 1\ 100$ элементов в секунду; $D = 400$ Гц Ширина полосы: 1 980 Гц = 1,98 кГц	1K98F3C --

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
5 Сложные излучения (см. таблицу III-B)			
Радиорелейная система с частотным уплотнением	$B_n = 2f_p + 2DK$ $K = 1$ (обычно)	60 телефонных каналов, занимающих групповую полосу от 60 до 300 кГц; среднеквадратичная девиация на канал: 200 кГц; пилот-сигнал непрерывности на частоте 331 кГц вызывает среднеквадратичную девиацию основной несущей, равную 100 кГц. $D = 200 \times 10^3 \times 3,76 \times 2,02$ $= 1,52 \times 10^6$ Гц $f_p = 0,331 \times 10^6$ Гц Ширина полосы: $3,702 \times 10^6$ Гц = 3,702 МГц	3M70F8EJF
Радиорелейная система с частотным уплотнением	$B_n = 2M + 2DK$ $K = 1$ (обычно)	960 телефонных каналов, занимающих групповую полосу от 60 до 4 028 кГц; среднеквадратичная девиация на канал: 200 кГц; пилот-сигнал непрерывности на частоте 4 715 кГц создает среднеквадратичную девиацию основной несущей, равную 140 кГц. $D = 200 \times 10^3 \times 3,76 \times 5,5$ $= 4,13 \times 10^6$ Гц $M = 4,028 \times 10^6$ $f_p = 4,715 \times 10^6$ $(2M + 2DK) > 2f_p$ Ширина полосы: $16,32 \times 10^6$ Гц = 16,32 МГц	16M3F8EJF
Радиорелейная система с частотным уплотнением	$B_n = 2f_p$	600 телефонных каналов, занимающих групповую полосу от 60 до 2 540 кГц; среднеквадратичная девиация на канал: 200 кГц; пилот-сигнал непрерывности на частоте 8 500 кГц создает среднеквадратичную девиацию основной несущей, равную 140 кГц. $D = 200 \times 10^3 \times 3,76 \times 4,36$ $= 3,28 \times 10^6$ Гц $M = 2,54 \times 10^6$ $K = 1$ $f_p = 8,5 \times 10^6$ $(2M + 2DK) < 2f_p$ Ширина полосы: $17 \times 10^6$ Гц = 17 МГц	17M0F8EJF
Стерефоническое звуковое радиовещание с дополнительной уплотненной телефонной поднесущей	$B_n = 2M + 2DK$ $K = 1$ (обычно)	Система с пилот-тоном; $M = 75\ 000$ $D = 75\ 000$ Гц Ширина полосы: $300\ 000$ Гц = 300 кГц	300KF8EHF

III-B МНОЖИТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПИКОВОЙ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ( $D$ )  
ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЧМ ПЕРЕДАЧ С ЧАСТОТНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ (ЧМ/ЧУ)

Для ЧМ/ЧУ систем необходимая ширина полосы:

$$B_n = 2M + 2DK$$

Величина  $D$  или пиковая девиация частоты в этой формуле для  $B_n$  рассчитывается путем умножения среднеквадратичного значения девиации частоты на канал на соответствующий "Множитель", указанный ниже.

Если частота пилот-сигнала непрерывности  $f_p$  превышает максимальную частоту модуляции  $M$ , общая формула принимает вид:

$$B_n = 2f_p + 2DK$$

Если индекс модуляции основной несущей, создаваемой пилот-сигналом, меньше 0,25; а среднеквадратичная девиация основной несущей, создаваемая пилот-сигналом, меньше или равна 70% среднеквадратичной девиации на канал, то общая формула выражается либо как:

$$B_n = 2f_p \text{ или } B_n = 2M + 2DK$$

в зависимости от того, какая из них дает больший результат.

Число телефонных каналов $N_c$	Множитель <sup>(1)</sup>	
	(пик - фактор) × антилогарифм	$\left[ \frac{\text{превышение эталонного уровня модуляции, дБ}}{20} \right]$
$3 < N_c < 12$	$4,47 \times \text{антилогарифм}$	$\left[ \frac{\text{величина, указываемая производителем оборудования или владельцем лицензии на станцию, одобренная администрацией, дБ}}{20} \right]$
$12 \leq N_c < 60$	$3,76 \times \text{антилогарифм}$	$\left[ \frac{2,6 + 2 \log N_c}{20} \right]$
Множитель <sup>(2)</sup>		
Число телефонных каналов $N_c$	(пик - фактор) × антилогарифм	$\left[ \frac{\text{превышение эталонного уровня модуляции, дБ}}{20} \right]$
$60 \leq N_c < 240$	$3,76 \times \text{антилогарифм}$	$\left[ \frac{-1 + 4 \log N_c}{20} \right]$
$N_c \geq 240$	$3,76 \times \text{антилогарифм}$	$\left[ \frac{-15 + 10 \log N_c}{20} \right]$

(1) В вышеприведенной таблице множители 3,76 и 4,47 соответствуют пик-факторам 11,5 дБ и 13,0 дБ, соответственно.

(2) В вышеприведенной таблице множитель 3,76 соответствует пик-фактору 11,5 дБ.

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
<b>IV ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ</b>			
<b>1 Радар</b>			
Немодулированное импульсное излучение	$B_n = \frac{2K}{t}$ <p><math>K</math> зависит от отношения длительности импульса к времени нарастания импульса; его значение обычно находится в пределах от 1 до 10 и во многих случаях оно не превышает 6.</p>	<p>Первичный радар Разрешающая способность по дальности = 150 м <math>K = 1,5</math> (пилообразный импульс, где <math>t_r \sim t_p</math>, учитываются только те составляющие, которые не более чем на 27 дБ ниже самых сильных) Итак:</p> $t = \left[ \frac{2 \times (\text{разрешающая способность})}{\text{скорость света}} \right]$ $= \frac{2 \times 150}{3 \times 10^8}$ $= 1 \times 10^{-6} \text{ с}$ <p>Ширина полосы: <math>3 \times 10^6 \text{ Гц} = 3 \text{ МГц}</math></p>	3M00P0NAN
<b>2 Сложные излучения</b>			
Радиорелейные системы	$B_n = \frac{2K}{t}$ <p><math>K = 1,6</math></p>	<p>Фазо-импульсная модуляция групповым сигналом из 36 телефонных каналов; ширина импульса на уровне половины амплитуды = 0,4 мкс Ширина полосы: <math>8 \times 10^6 \text{ Гц} = 8 \text{ МГц}</math> (ширина полосы не зависит от числа телефонных каналов)</p>	8M00M7EJT
<b>3 Стандартная частота и сигналы времени</b>			
<b>3.1 Высокая частота (тональные посылки)</b>			
Такты, используемые для измерения времени появления сигнала	$B_n = 2/t_r$	<p><math>t_r = 1 \text{ мс}</math> Ширина полосы: <math>2\,000 \text{ Гц} = 2 \text{ кГц}</math></p>	2K00K2XAN
<b>3.2 Низкая частота (код времени)</b>			
Передний фронт кода времени, используемый для измерения времени появления сигнала	$B_n = 2/t_r$	<p><math>t_r = 1 \text{ мс}</math> Ширина полосы = <math>2\,000 \text{ Гц} = 2 \text{ кГц}</math></p>	2K00K2XAN
<b>V. РАЗНОЕ</b>			
Ортогональное частотное разделение каналов (OFDM) или кодированное OFDM (COFDM)	$B_n = N_s \cdot K$	<p>Используются 53 активные поднесущие, разнос между каждой из которых составляет 312,5 кГц (<math>K = 53</math> и <math>N_s = 312,5 \text{ кГц}</math>). Поднесущие данных могут подвергаться ДФМн, КФМн, КАМ модуляции. <math>B_n = 312,5 \text{ кГц} \times 53 = 16,6 \text{ МГц}</math></p>	16M6W7D