

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАНАЛА WiMAX

**В.В. Ковалевский, магистрант,**

**Д.А. Довгяло, канд. техн. наук, доц.**

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
Новополоцк, Беларусь*

*Рассмотрены основные параметры и характеристики системы WiMAX. Определен тип модуляции, которая гарантирует предоставление услуги tripleplay без потери данных.*

**Ключевые слова:** *WiMAX, модуляция, символьная скорость, чувствительность, SNR.*

Задачей любой сети связи является предоставление абонентам возможности общения в любом месте с хорошей скоростью. Чтобы обеспечить высокую скорость передачи данных на максимальной дальности расположения базовой станции от абонентских терминалов, система WiMAX должна обладать высокими энергетическими параметрами канала связи. К основным энергетическим параметрам канала беспроводной системы можно отнести:

- пороговый уровень чувствительности  $R_x$ ;
- выходную мощность передатчика базовой станции и абонентской станции  $T_{xpower}$  БС/АС;
- запас по замираниям FadeMargin;
- требуемое отношение уровня сигнала к шуму SNR;
- системное усиление SystemGain, определяющее максимальную дальность связи;
- величину запаса бюджета канала связи DL LinkBudget.

Система WiMAX обеспечивает высокую плотность потока данных, т.е. необходимую скорость передачи для охвата заданной территории. В свою очередь, высокая скорость передачи данных или пропускная способность системы, построенная по технологии WiMAX, может достигаться за счет того, что на большой дальности поддерживается высокая символьная скорость. Символьная скорость — это скорость передачи последовательности символов, которая реализуется модуляцией сигнала. Символьная скорость характеризует скорость передачи какой-либо информации на физическом уровне сети. Если измерить на канальном и транспортных уровнях сети реальные скорости передачи данных, они окажутся значительно меньше символьных скоростей. Каждый тип модуляции может обеспечивать определенную символьную скорость.

Кроме скорости передачи данных необходимо обеспечить правильность приема символов. Таким образом, для приема символа с допустимым уровнем ошибок в системе необходим достаточно мощный сигнал и, следовательно, высокое отношение мощности сигнала к шуму. Каждый тип модуляции характеризуется требуемым уровнем

отношения сигнала к шуму, который необходим для передачи с минимальными ошибками бита информации  $BER$ . На рисунке 1 представлена зависимость отношения  $SNR$  от битовых ошибок для каждого типа модуляции.

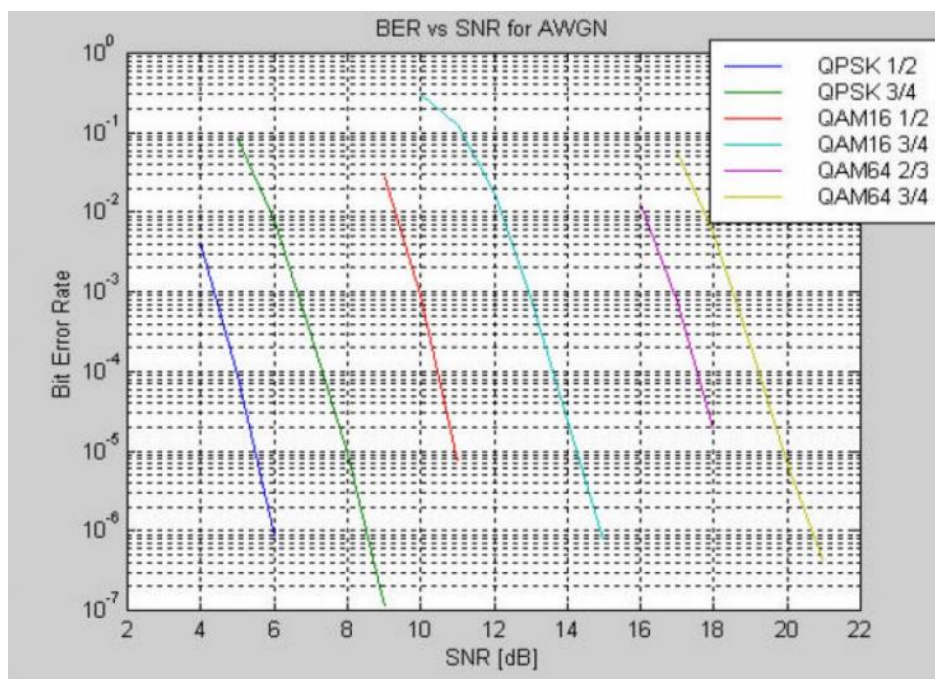


Рисунок 1. – Зависимость отношения сигнал/шум от допустимого уровня битовой ошибки для различных видов модуляции

Стандарт IEEE 802.16 для систем WiMAX определяет максимально допустимый уровень битовой ошибки  $BER$  равный  $10^{-6}$ . Для поддержки модуляции 64QAM на уровне ошибок не выше  $BER = 10^{-6}$  с учетом коррекции ошибок  $FEC = 3/4$  стандарт IEEE 802.16-2004 определяет значение отношения сигнал/шум для OFDM сигнала  $SNR$  равное 24.4 dB. Более низкие значения  $SNR$  определяются для поддержки остальных более низких типов модуляции.

Чтобы получить требуемый уровень  $SNR$  мощность сигнала на входе приемника системы должна быть выше соответствующего порогового уровня чувствительности для каждого определенного типа модуляции.

Чувствительность – одна из важнейших характеристик, под которой понимают способность радиоприемника принимать слабые сигналы. Пороговый уровень чувствительности  $R_x$  приемника для систем OFDM для модуляции, например 64QAM3/4, определяется как [1]:

$$R_{x64QAM3/4} = N_0 + SNR_{64QAM3/4} + 10\log(BW_{ef}) + N_f + IL, \quad (1)$$

где  $SNR_{64QAM3/4}$  –требуемый уровень отношения  $SNR$ . Для модуляции 64QAM3/4= =24,4 дБ;

$N_0 = 10\log(kT_0) = -144$  дБ (Вт/МГц) –спектральная плотность мощности теплового шума приемника;

$N_f$  – значение собственного шума приемника ( $N_f = 8$  дБ для IEEE 802.16e,  $N_f = 7$  дБ по стандарту IEEE 802.16d-2004);

$IL$  – Implementation loss – потери реализации.  $IL = 5$  дБ. Эта величина отражает так называемые потери реализации, учитывающие неидеальность приемника, ошибки квантования, фазовый шум и др.;

$BW_{ef}$  – эффективная ширина спектра группового OFDM сигнала. Для канала шириной 10 МГц  $BW_{ef} = 11,52$  МГц,  $10\log(BW_{ef}) = 10,61$  дБ.

В нашем случае ширина канала – 7 МГц.

Определим эффективную ширину спектра группового OFDM сигнала по формуле

$$BW_{ef} = BWn, \quad (2)$$

где  $BW$  – ширина канала;

$n$  – коэффициент, принимающий следующие значения: 144/125 – для каналов, ширина которых кратна 1,25; 57/50 – для каналов, ширина которых кратна 2,0; 8/7 – для каналов другой ширины.

По формуле (2) можно определить эффективную ширину спектра

$$BW_{ef} = 7 \cdot 10^6 \cdot 8 / 7 = 8 \text{ МГц.}$$

Таким образом, получено значение  $BW_{ef} = 8$  МГц, следовательно,  $10\log(BW_{ef}) = 9,03$  дБ.

Преобразуем (1) в пороговый уровень чувствительности выраженный в дБм [2].

$$R_{X \text{ 64QAM3/4}} = -102 + SNR_{64QAM3/4} + 10 \log(BW_{ef}), \quad (3)$$

По (3) можно определить пороговый уровень чувствительности для спектрально эффективных видов модуляции, которые способны поддержать необходимую скорость без ухудшения качества передаваемой информации для услуги tripleplay:

$$R_{X \text{ 64QAM3/4}} = -102 + 24,4 + 10\log(8) = -68,57 \text{ дБм;}$$

$$R_{X \text{ 64QAM2/3}} = -102 + 21 + 10\log(8) = -71,97 \text{ дБм;}$$

$$R_{X \text{ 16QAM3/4}} = -102 + 16 + 10\log(8) = -76,97 \text{ дБм;}$$

$$R_{X \text{ 16QAM1/2}} = -102 + 13 + 10\log(8) = -79,97 \text{ дБм.}$$

Тем самым, требуемый для поддержки модуляции 64QAM3/4 пороговый уровень чувствительности системы WiMAX стандарта IEEE 802.16d-2004 составляет  $-68,57$  дБм и  $SNR_{64QAM3/4} = 24,4$  дБ при потерях реализации 5 дБ с шириной канала 7 МГц.

Таким образом, для поддержки определенного значения модуляции уровень OFDM-сигнала на входе приемника в полосе пропускания канала  $BW$  должен превышать соответствующий этой модуляции уровень чувствительности, что равносильно

тому, что входной сигнал превышает уровень теплового шума с учетом внутреннего шума приемника и потерь реализации на величину отношения сигнал/шум SNR. Реальные системы WiMAX обычно имеют более высокий по сравнению с требованиями стандарта уровень чувствительности, поскольку значение потерь реализации 5 dB и уровень внутренних шумов приемника в стандарте несколько завышены [2].

Чувствительность базовой станции WiMAX, фиксированного доступа стандарта IEEE 802.16d в диапазоне частот 3,3 ГГц в канале шириной 7 МГц, со значением собственного шума приемника 5дБ для используемых видов модуляции приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Чувствительность приемников БС и АС

| Чувствительность приемника при $BER < 10^{-6}$ , дБм | BPSK 1/2 | QPSK 1/2 | QPSK 3/4 | 16QAM 1/2 | 16QAM 3/4 | 64QAM 2/3 | 64QAM 3/4 |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1                                                    | 2        | 3        | 4        | 5         | 6         | 7         | 8         |
| Базовая станция                                      | –96      | –93      | –90      | –87       | –84       | –80       | –78       |
| Абонентская станция                                  | –94      | –91      | –88      | –85       | –82       | –78       | –76       |

В таблице 1 также приведена чувствительность приемника абонентского терминала WiMAX [3]. Система может поддерживать модуляцию 64QAM 3/4 и при значительно более низких значениях сигнала, но при этом уровень битовой ошибки будет хуже значения  $BER = 10^{-6}$ .

Для любой системы важной характеристикой является дальность связи. Параметр системы, определяющий максимальную дальность связи, называется системным усилением SG. Системное усиление определяется разностью выходной мощности передатчика и чувствительности приемника системы.

$$SG = T_x - R_x, \quad (4)$$

где  $T_x$  – выходная мощность передатчика системы;

$R_x$  – чувствительность приемника системы.

Системное усиление для модуляции 64QAM3/4.

$$SG_{64QAM3/4} = 30 + 78 = 108 \text{ дБм.}$$

Для определения дальности связи используют уравнение бюджета канала связи LinkBudget. Данное уравнение связывает уровни мощности на входе приемника RSSL RX и выходной мощности передатчика TX (приемник и передатчик находятся друг от друга на расстоянии D):

$$RSSL R_x = T_x + GT_x + GR_x - LR_x - LT_x - LD, \quad (5)$$

где  $T_x$  – выходная мощность передатчика, дБм;

$GT_x$  – коэффициент усиления антенны передатчика, дБм;

$GR_x$  – коэффициент усиления антенны приемника, дБм;

$LR_x, LT_x$  – СВЧ потери мощности сигнала в кабеле, разъемах и др.;

$LD$  – потери в дБ на пути распространения радиоволн на дальности  $D$  км.

Если уровень сигнала на входе приемника RSSL  $R_x$  будет выше уровня чувствительности  $R_x$ , система будет поддерживать связь на модуляции 64QAM3/4. Это будет реализовано если:

$$RSSL R_x - FM = T_x + GT_x + GR_x - LR_x - LT_x - LD - FM \geq R_x. \quad (6)$$

Для этого необходимо, чтобы

$$LD \leq SG + GT_x + GR_x - LR_x - LT_x - FM, \quad (7)$$

где  $FM$  – запас по замираниям FadeMargin.

Запас по замираниям FadeMargin ( $FM$ ) это величина, на которую уровень сигнала должен превышать уровень чувствительности. В системах WiMAX для поддержки модуляции 64QAM сигнала OFDM достаточно запаса  $FM = 1$  dB, на практике используют величину  $FM = 3$  dB [2]. Таким образом, чем выше системное усиление и меньше требуемый запас по замираниям, тем больший бюджет линии имеет система и соответственно, тем больше дальность связи. В таблице 2 представлены энергетические параметры системы WiMAX.

Таблица 2. – Энергетические параметры системы WiMAX

| Система                  | Rx, BS/SS 64QAM 3/4, дБм | Tx power BS/SS, дБм | Fade Margin, дБ | SNR, 64QAM 3/4, дБ | System gain DL, дБм | Величина запаса DL Link Budget, дБм |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------|
| WiMAX, IEEE 802.16-2004  | -70/-70                  | 20/20               | 1               | 22                 | 90                  | 18                                  |
| WiMAX, Aperto Packet MAX | -78/-76                  | 30/24               | 1               | 22                 | 108                 | 30                                  |

Для повышения дальности связи необходимо повышать энергетические параметры системы, как со стороны базовой станции, так и со стороны абонента. Повышение выходной мощности базовой станции не является серьезной проблемой.

Для повышения выходной мощности абонентского терминала применяют технологию sub-channelization. При этой технологии абонентские устройства могут использовать для канала связи Uplink только некоторую часть поднесущих, которые назначены в данном канале. Таким образом, для передачи информации с необходимой для удовлетворения услуг по качеству, скоростью передачи, используется часть поднесущих. Соответственно, ширина канала становится значительно меньше ширины канала со всеми поднесущими, что увеличивает энергетику системы. Применение механизма sub-channelization позволяет значительно увеличивать дальность связи систем WiMAX.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев, В. Н. Особенности расчета параметров сети Mobile WiMAX / В. Н. Дмитриев, И. Г. Ша- лаев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вы- числительная техника и информатика. – 2010. – №2. – С. 129–134.
2. Архипкин, А. Стандарт WiMAX: техническое описание, варианты реализации и специфика приме- нения / А. Архипкин // Беспроводные технологии. – 2003. – №3. – С. 14–17.
3. Шаповалов, А. А. Использование беспроводных сетей стандарта IEEE802.16 для построения канала пе- редачи информации в системах управления безопасностью мореплавания / А. А. Шаповалов // Жур- нал Московского ИПУ РАН. Серия: Управление большими системами. – 2010. – № 25. – С. 294–320.