

УДК 654.16

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РАДИОШУМА НА РАДИУС СОТЫ С ТЕХНОЛОГИЕЙ УЗКОПОЛОСНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В.А. АКСЕНОВ, С.В. СМОЛЯК, М.Ю. ХОМЕНОК*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 24 октября 2020*

Аннотация. Проведен анализ влияния промышленного ради шума на достижение максимального радиуса покрытия соты с технологией узкополосного интернета вещей NB-IoT в диапазоне 900 МГц. В среде Matlab выполнена аппроксимация оценки распределения плотности вероятности индустриального ради шума по результатам натурных измерений.

Ключевые слова: NB-IoT, промышленный ради шум, тепловой шум, чувствительность приемника, аппроксимация данных, радиус соты.

Введение

Опыт оператора сотовой связи А1 по планированию и эксплуатации сети узкополосного интернета вещей NB-IoT показывает, что достижению максимального радиуса покрытия в сотах этой сети зачастую мешает т.н. промышленный (индустриальный) шум, создаваемый множеством различных источников в промышленно развитых городах, вдоль электрифицированных железных дорог и т.п. На основе этого опыта ниже обсуждается вопрос об учете индустриального шума в расчетах радиуса покрытия соты с технологией NB-IoT.

Ради шум в диапазоне 900 МГц для сотовой сети с технологией NB-IoT

Ради шум определяется в Рекомендации МСЭ-R V.573 [1] следующим образом: радиочастотный шум это «...изменяющееся во времени электромагнитное явление, имеющее составляющие в радиочастотном диапазоне и явно не передающее информации, которое может налагаться на полезный сигнал или смешиваться с ним». Кроме того, «совокупность мешающих сигналов, если они отдельно неразличимы, может проявляться как радиочастотный шум.»

В некоторых случаях радиочастотный шум может передавать информацию о некоторых характеристиках своего источника, например о его природе или месте расположения. Например, промышленные импульсные шумы как правило имеют периодичность во временной области, пропорциональную периодам вращения соответствующих электродвигателей, электрических цепей импульсного регулирования и т.п.

В Рекомендации МСЭ-R P.372 [2] приводятся данные по ради шуму, внешнему по отношению к принимающей радиосистеме, который возникает вследствие следующих причин:

- излучение от грозовых разрядов (атмосферный шум, вызванный грозой);
- совокупное непреднамеренное излучение от электрических механизмов, электрического и электронного оборудования, линий электропередачи или систем зажигания двигателей внутреннего сгорания (промышленный шум);
- эмиссия от атмосферных газов и гидрометеоров;
- присутствие земной поверхности или других препятствий на пути луча антенны;
- излучение от небесных источников радиоволн.

Для описания шумов в Рекомендациях P.372 применяется величина F_a – коэффициент внешнего шума, определяемый как:

$$F_a = 10 \lg \left(\frac{P_n}{kT_0 B} \right), \quad (1)$$

где P_n – допустимая мощность шума с выхода эквивалентной антенны без потерь; k – постоянная Больцмана, которая равна $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К; T_0 – эталонная температура (К), принятая равной 290 К; B – ширина полосы приемной системы на уровне мощности шума (Гц).

В соответствии с (1) коэффициент внешнего шума F_a показывает превышение (или наоборот) мощности некоторого внешнего шума над мощностью теплового шума.

Данные по медианным (средним) значениям указанных выше шумов в зависимости от частоты показаны на графиках рис. 1, заимствованных из указанных Рекомендаций Р.372 (стр. 6, рис. 3 в [2]). Можно видеть, что для частоты 900 МГц превышение промышленного шума над тепловым составляет 8 дБ.

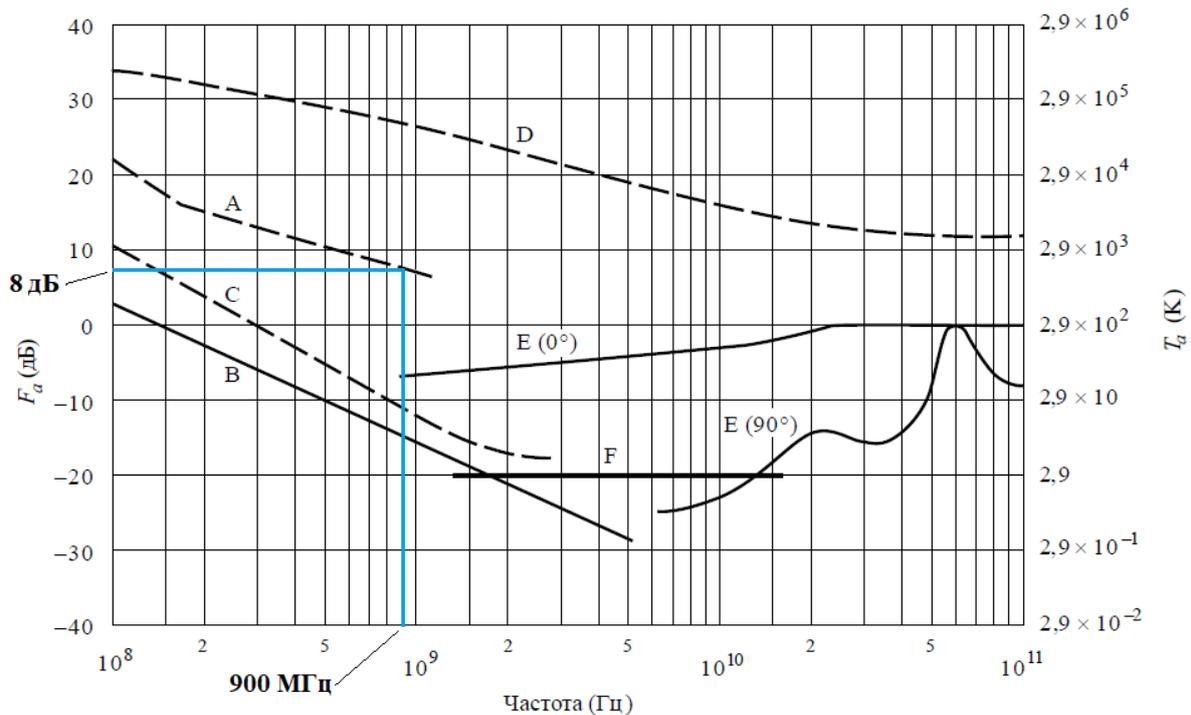


Рис. 1. F_a в зависимости от частоты (10^8 – 10^{11} Гц)

На рис. 1 приведены следующие графики: А – оценка медианного значения промышленного шума в деловой зоне; В – галактический шум; С – галактический шум (антенна, ориентированная к центру галактики, с бесконечно узким лучом); D – спокойное Солнце (ширина луча $0,5^\circ$ в направлении Солнца); E – шум неба за счет кислорода и паров воды (антенна с очень узким лучом), верхняя кривая, угол места 0° , нижняя кривая, угол места 90° ; F – черное тело (космический фон), 2,7 К.

Как указано в [3], в настоящее время коммерческая успешность эксплуатации сетей NB-IoT достигается при использовании радиусов сот с этой технологией, в 2–3 раза превышающих радиусы сот с иными технологиями в этом же диапазоне 900 МГц (GSM/GPRS/EDGE/U900). Соответственно, требуемая высокая чувствительность приемников в сетях NB-IoT по уровню до -138 дБм (режим передачи с одной несущей, шаг сетки 3,75 кГц), может оказаться недостижимой при столь сильном превышении промышленного шума над тепловым.

Аппроксимация результатов измерений в среде Matlab

Для оценки влияния промышленного шума на радиус сот представляет интерес не только среднее его значение, но и закон распределения плотности вероятности. К сожалению,

сложности с обеспечением метрологической чистоты измерений малых по уровню шумов в широких полосах наблюдения приводят к тому, что соответствующая информация почти отсутствует в доступных источниках и рекомендациях МСЭ. Наиболее интересные данные по закону распределения плотности вероятности промышленных шумов представлены в [4]. В этой статье имеется экспериментально полученная гистограмма распределения отсчетов мощности промышленного шума в осях «количество наблюдаемых значений – уровень (в дБм)» для частотного диапазона (450 – 500) МГц. Указано также, что наблюдаемое распределение мало зависит от времени суток, но более сильно связано с особенностями территории, где выполнялись измерения (промышленная городская среда, жилая территория, сельская местность).

Для получения математического описания (аппроксимации счетной во всех точках кривой) указанного распределения использовался пакет Curve Fitting Toolbox в среде Matlab версии R2020. Наилучший результат «подгонки кривой» (аппроксимации) дала функция из суммы двух гауссовых кривых (т.н. model Gauss2), представленная ниже

$$f(x) = a_1 \exp\left(-\left(\frac{(x-b_1)}{c_1}\right)^2\right) + a_2 \exp\left(-\left(\frac{(x-b_2)}{c_2}\right)^2\right), \quad (2)$$

где коэффициенты с доверительной вероятностью 95 % принимают значения:

$$a_1 = 0,06534(0,0288; 0,1019),$$

$$b_1 = 0,7857(0,7564; 0,8151),$$

$$c_1 = 0,3887(0,313; 0,4643),$$

$$a_2 = 0,04188(0,02176; 0,06201),$$

$$b_2 = 0,324(-0,001546; 0,6496),$$

$$c_2 = 0,6245(0,4504; 0,7987).$$

В скобках указаны значения доверительного интервала для каждого из коэффициентов.

Значение аргумента x в эксперименте менялось от -78 дБм до -114 дБм. Медианное значение аргумента x , при котором площадь распределения плотности вероятности делится пополам, составляет -90 дБм.

На рис. 2 показаны данные с гистограммы, полученной экспериментально, и аппроксимирующая кривая.

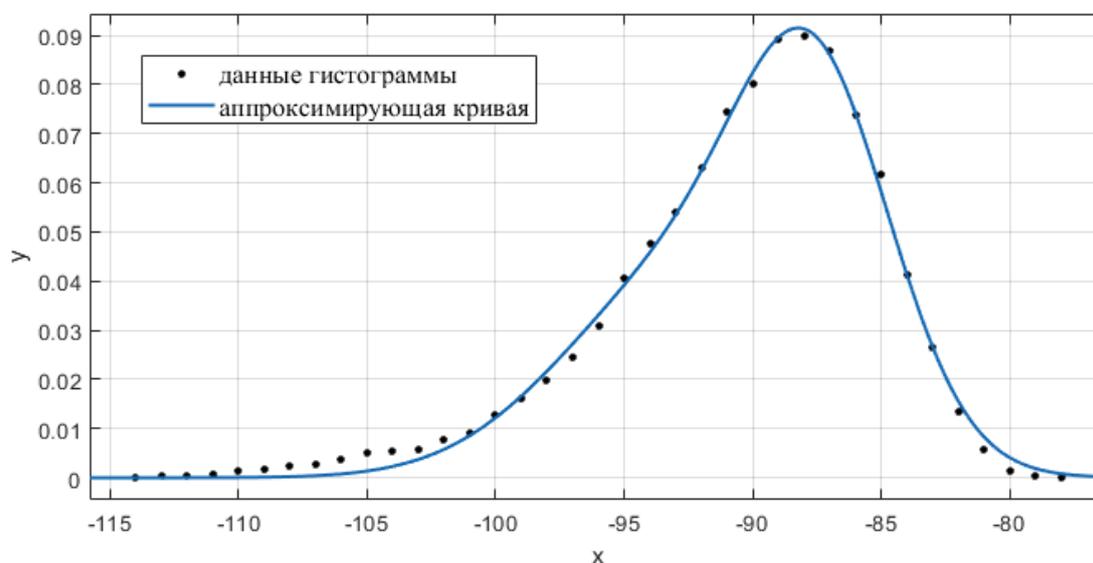


Рис. 2. Распределение плотности вероятности мощности промышленного шума x , дБм

С определенной долей приближения, полученное распределение можно распространить и на диапазон 900 МГц. Можно ожидать, что для этого диапазона и различных вариантов территории (жилая, деловая, сельская) будет меняться среднее значение мощности, однако сохранится форма распределения и его дисперсия.

Влияние параметров шума на радиус соты

Как известно [8], чувствительность приемника Sr (в дБм) определяется выражением

$$Sr = 10\lg(kT_0B) + NF + E_b/N, \quad (3)$$

или после преобразования

$$Sr = -174 + 10\lg(B) + NF + E_b/N, \quad (4)$$

где NF – Noise Figure – коэффициент шума приемника, E_b/N – запас на корректную демодуляцию, определяемый требуемым отношением энергии бита к энергии шума.

Вычисляемую таким образом чувствительность можно считать максимальной чувствительностью Sr_{max} . Если известна мощность передатчика Ptr и для расчета потерь при распространении используется, например, линейная от логарифма дистанции модель Хата $L(\lg d)$ [3], то для расчета радиуса соты можно использовать показанный на рис. 3 график в осях «мощность – логарифм дистанции». На нем точка пересечения линейной функции падения принимаемой мощности с уровнем максимальной чувствительности определит максимальный радиус соты R_{max} (более точно, его логарифм). Однако, если уровень промышленного шума превышает уровень максимальной чувствительности, то будет происходить т.н. деградация чувствительности с ее уменьшением до некоторого значения Sr_{min} , определяемого параметрами распределения шума. Эта деградировавшая чувствительность определит новый, меньший, радиус соты R_{min} .

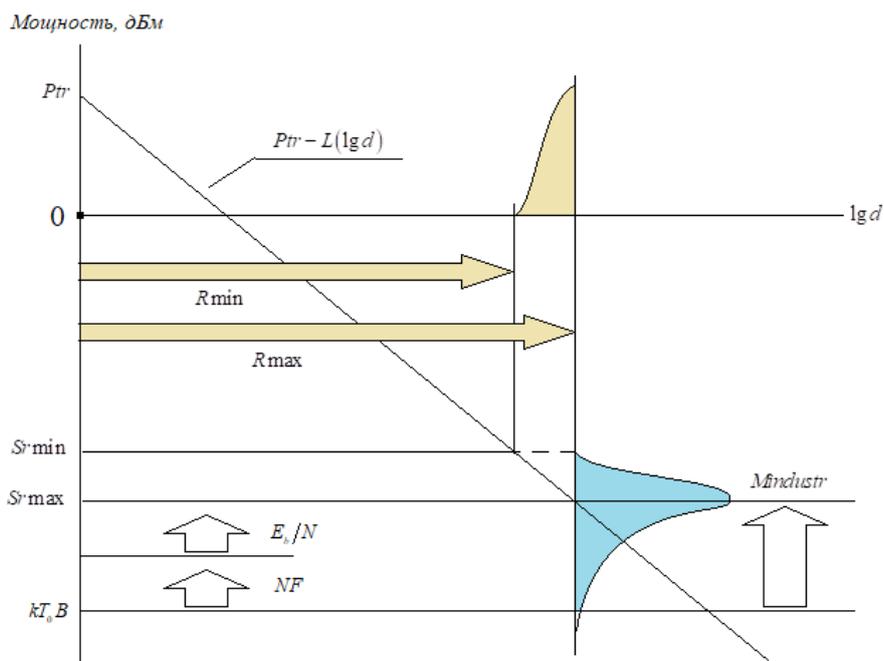


Рис. 3. Влияние параметров распределения мощности промышленного шума на изменение радиуса соты

Для примера, на графике рис. 3 показана ситуация, когда медианное значение $M_{industr}$ распределения промышленного шума (полагаемое в Рекомендациях Р 372 для частоты 900 МГц равным 8 дБ выше теплового шума) оказалось в точности равно максимальной чувствительности

приемника Sr_{max} . Это совершенно реальный случай, при условии, что NF обычно лежит в пределах от 2 до 10 дБ [8], и отношение E_b/N , например, равно 3 дБ для модуляции несущей QPSK.

Из графика рис. 3 видно, что степень деградации чувствительности и, соответственно, уменьшение радиуса соты NB-IoT будет определяться взаимным соотношением уровней максимальной используемой чувствительности приемника и средним значением промышленного шума, а также формой кривой распределения уровня шума, лежащей выше уровня максимальной чувствительности. Если применить для графика на рис. 3 значения распределение плотности вероятности шума с рис. 2, поместив его медианное значение на уровень Sr_{max} , то деградация (уменьшение) чувствительности составит 12 дБ.

Заключение

Как следует из представленного выше анализа, учет промышленных радишумов актуален при расчете параметров радиопокрытия сотовых систем, вынужденных использовать большие радиусы сот и, соответственно, требующих высокой чувствительности приемников, что как раз и присутствует в сетях NB-IoT. Постоянно возрастающая плотность источников промышленных радишумов еще больше обостряет эту проблему.

INFLUENCE OF MAN-MADE RADIO NOISE ON A RANGE OF A CELL, WHICH USES THE NARROW-BAND INTERNET OF THINGS

V.A. AKSYONOV, S.V. SMOLYAK, M.Yu. KHOMENOK

Abstract. The analysis of the influence of industrial radio noise on the achievement of the maximum radius of the cell coverage with the technology of the narrowband Internet of Things NB-IoT in the 900 MHz range is carried out. In the Matlab environment, an approximation of the estimate of the distribution of the probability density of industrial radio noise based on the results of field measurements is performed.

Keywords: NB-IoT, industrial radio noise, thermal noise, receiver sensitivity, data approximation, cell radius.

Список литературы

1. Рекомендация МСЭ-R V.573-5. Словарь по радиосвязи. [Электронный ресурс]. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-5-200709-S!!PDF-R.pdf.
2. Рекомендация МСЭ-R P.372-12. Радишум. Серия Р. Распространение радиоволн. Электронная публикация. Женева, ITU, 2016г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.
3. Аксенов В.А., Смоляк С.В., Хоменок М.Ю. // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных. Минск. БГУИР, 2019. Стр. 43–48.
4. Frank Leferink [et al.] The Radio Science Bulletin No 334 (September 2010). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/47937063>.
5. Man-Made Noise Measurement Programme (AY4119). Final Report. Issue 2. September 2003. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/3350485_Man-made_noise_measurement_programme.
6. Erik van Maanen. Practical radio Noise Measurements. 18th International Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility. June 28-30, 2006, Wroclaw, Poland. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.emc.wroc.pl/B>.
7. Сообщество Экспонента. Учебное пособие по Curve Fitting Toolbox. [Электронный ресурс]. URL: <https://hub.exponenta.ru/post/curve-fitting-toolbox796#1>.
8. Kevin Faison. Understanding noise figures in radio receivers. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eetimes.com/understanding-noise-figures-in-radio-receivers/#>.