

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1753

Метод измерений радишума

(Вопрос МСЭ-R 1/45)

(2006)

Сфера применения

Для измерения радишума необходимо иметь единый, независимый от частот метод получения сравнимых, точных и воспроизводимых результатов для различных систем измерения. Настоящая Рекомендация предусматривает ряд операций или этапов, которые должны быть включены в процедуру измерения, позволяющую получить такие сравнимые результаты.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что с введением новых систем радиосвязи (например, сверхширокополосная связь (UWB) и ВЧ-связь по ЛЭП (PLC)), уровни радишума, указанные в Рекомендации МСЭ-R P.372, могут возрасти;
- b) что для эффективного управления использованием спектра администрации должны знать точные уровни шума;
- c) что необходимо согласовать метод измерения для измерений шума, для того чтобы получать воспроизводимые результаты, которые были бы взаимно сравнимыми,

отмечая,

- a) что справочник по управлению использованием спектра содержит большой объем информации о контрольно-измерительном оборудовании;
- b) что для измерений шума нужны дополнительные технические характеристики приемника,

рекомендует

- 1 производить измерения радишума так, как это предусмотрено в Приложении 1.

Приложение 1**Метод измерений радишума****1 Введение**

В настоящем Приложении описан независимый от частот метод измерения радишума в практических радиоустановках.

2 Свойства шума

Исходя из определения, приведенного в Рекомендации МСЭ-R P.372, радишум представляет собой сумму излучений многих источников, происходящих не от передатчиков радиосвязи. Если в определенном месте проведения измерений нет преобладания одиночных источников шума, то характеристика радишума имеет обычное амплитудное распределение и может рассматриваться как белый гауссовский шум. Сигналы от одиночных источников, наподобие пульсаций и непрерывных

несущих, выходят за рамки измерений радишума, описанных в настоящей Рекомендации, и поэтому должны быть исключены.

3 Технические характеристики оборудования

3.1 Приемник

Измерительный приемник может быть стандартным транспортируемым измерительным приемником или спектроанализатором, обладающим некоторыми дополнительными требованиями, например низким уровнем шума собственного оборудования, а также высокочастотной стабильностью и стабильностью усиления, имеющими важное значение для проведения измерений шума. В таблице 1 не приводится описание нового набора технических характеристик для измерительных приемников, а всего лишь указываются дополнительные или специфические требования, предъявляемые к приемникам, используемым для измерений радишума. Определения частотных полос также основываются на практической реализации систем измерения шума и не указывают на какую-либо конкретную приемную систему.

ТАБЛИЦА 1
Приемник

Функция	Частотный диапазон		
	9 кГц – 30 МГц	30–500 МГц	0,5–3 ГГц
Частотный диапазон	9 кГц – 30 МГц	30–500 МГц	0,5–3 ГГц
Вход (антенный вход) VSWR	50 Ω, номинал < 1,5		
Перехват 3-го порядка (дБм)	≥ 20 (> 3 МГц)	≥ 10	≥ 0
Перехват 2-го порядка (дБм)	≥ 60 (> 3 МГц)	≥ 50	–
Преселекция	Набор субоктавных полосовых фильтров или следящих фильтров	Следящий или неперестраиваемый фильтр Фильтр нижних/верхних частот	
Коэффициент шума	15 дБ (> 2 МГц)		
Чувствительность (500 Гц ширина полосы частот) (дБмкВт)	–10	–7	–7
ЛО-фазовый шум (дБс/Гц)	–120 сдвиг в 10 кГц	–100 сдвиг в 10 кГц	–100 сдвиг в 10 кГц
Подавление помехи по промежуточной частоте (дБ)	> 80	> 90	> 100
Подавление помех от зеркального канала (дБ)	> 80	> 90	> 100
АРУ	Результаты измерения должны быть получены без применения АРУ		
Электромагнитная совместимость комплекта измерительного оборудования, включая компьютеры и интерфейсы	Любая помеха, произведенная и полученная этим комплектом, должна быть на > 10 дБ ниже среднего значения измеряемых шумов		

Селективность по промежуточной частоте в пределах 6–60 дБ должна быть известна с высокой степенью точности для того, чтобы рассчитать эквивалентную полосу шумов в случаях, когда необходимо будет сравнить результаты измерений с различными фильтрами промежуточной частоты.

3.2 Усилитель с низким уровнем собственных шумов (LNA)

LNA необходим для частот > 20 МГц

Для того чтобы гарантировать разумную степень точности измерений, необходимо поддерживать измеряемый шум на уровне, который не менее чем на 10 дБ превышает бы минимальный уровень собственных шумов оборудования, если используется среднеквадратичный детектор. LNA может помочь в этом. Требования, предъявляемые к такому усилителю, приводятся в таблице 2, в которой не содержится описание нового набора технических характеристик для измерительных приемников или LNA, а всего лишь указываются дополнительные или специфические требования, предъявляемые к LNA, используемому для измерений радишума.

ТАБЛИЦА 2

LNA

Функция	Частотный диапазон		
	20–50 МГц	50–500 МГц	0,5–3 ГГц
Вход (антенный вход) VSWR	50 Ω, номинал < 1,5		
Коэффициент усиления (дБ)	≤ 18	≤ 25	≤ 25
Стабильность усиления	≤ 0,1 дБ под углом 10–30° С		
Коэффициент шума (дБ)	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в интересующем частотном диапазоне (дБ)	< 0,1	< 0,2	< 0,5

Необходимо следить за тем, чтобы при использовании LNA приемник не оказался перегруженным. Для предотвращения перегрузки можно использовать полосно-пропускающий фильтр.

3.3 Антенны

Универсальной антенны для всех типов измерения шума и всех частотных диапазонов не существует, однако есть ряд общих требований. Необходимо оптимизировать диаграмму направленности антенны для соответствующего вида распространения измеряемого шума, например, волны, отраженной от верхних слоев атмосферы, или прямой волны. Коэффициент усиления должен быть, по возможности, постоянным по соответствующей приемной апертуре. Хотя находящийся под влиянием условий окружающей среды шум, сам по себе, неполяризован, идеальной все же могла бы быть независимая от поляризации антенна или совокупность антенн. Для антенн, расположенных в условиях, где источники шума распределяются вокруг антенны равномерно, диаграмма направленности антенны имеет меньшее значение, по сравнению со случаями, когда шумовой сигнал принимается под углом. Только в первом случае в качестве поправочного коэффициента необходимо использовать коэффициент полезного действия антенны или коэффициент усиления по всей площади апертуры антенны. Это, в частности, относится к измерениям в высокочастотных диапазонах. Чем ниже частота, тем большее значение имеют трехмерные характеристики диаграммы антенны.

3.4 Анализ неточностей

Конечный результат соответствующего измерения должен отражать реальное значение, которое может быть воспроизведено даже в том случае, если будет использоваться любое другое измерительное оборудование. Необходимо определить не только среднюю точность, но и допустимые пределы колебаний соответствующих значений. Для каждого измерения необходимо подготовить баланс неточностей, включающий все факторы, влияющие на общую неточность измерения. Информацию об этом можно почерпнуть, например, из "Руководства для выражения неточностей в измерениях" МОС (внести номер).

4 Метод/алгоритм измерений

Шум измеряется двумя основными способами: первый метод использует среднеквадратичный детектор для определения мощности шума, а второй – первичное опробование с использованием детектора выборок. Конечные результаты обоих методов одни и те же, однако эти методы предлагают различные пути представления и обработки данных. Хотя метод с использованием среднеквадратичного детектора больше подходит для измерений в ВЧ-полосах частот, метод первичного опробования больше подходит для измерений в диапазонах частот ОВЧ/УВЧ.

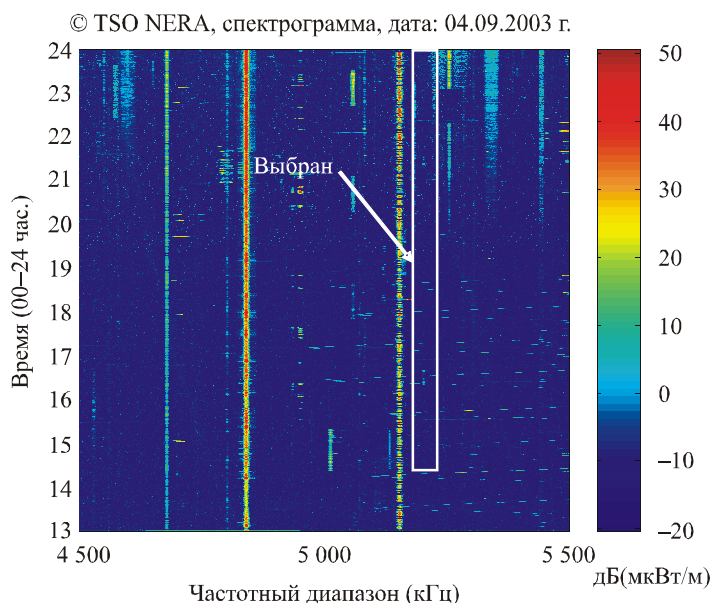
4.1 Выбор полосы частот или частоты

Можно проводить измерения на одной единственной частоте (канале) или в определенной полосе частот (например, 100 кГц). Эти наблюдения могут быть произведены автоматически, а их результаты обработаны согласно заранее определенному протоколу.

В случае сканирования той или иной полосы частот наилучшее качество результатов получается путем измерений на полосе частот с как можно более слабыми сигналами. Данные, полученные в результате предыдущих измерений или экспериментальных замеров, могут использоваться при выборе полосы с низкой занятостью, в которой производятся окончательные измерения. Для измерения на единственной частоте эта частота должна быть занята только мешающими сигналами в течение незначительного процента времени в период регистрации. В этом случае мы также можем использовать данные предыдущих измерений. Хотя метод первичных данных можно использовать в сочетании со сканированием частот, измерение на единственной частоте более удобно.

РИСУНОК 1

Определение частотного интервала в полосе 5 МГц



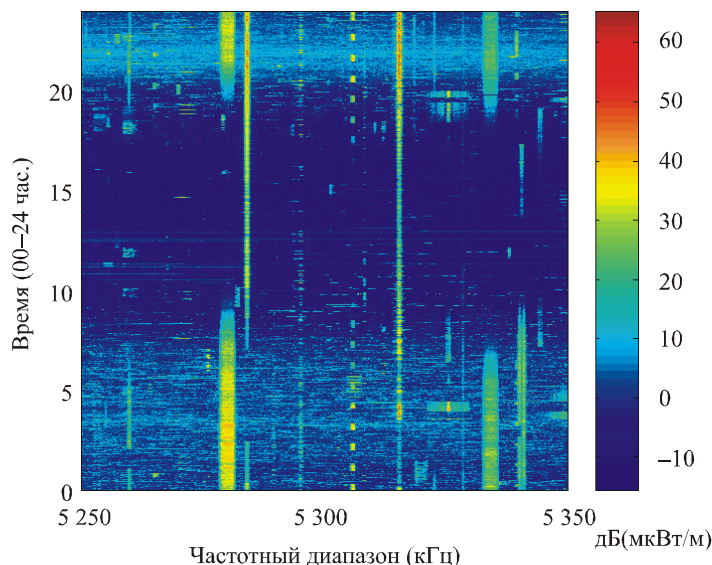
1753-01

В примере, представленном на рисунке 1, сегмент полосы частот 4500–5500 кГц замеряется в течение 24 часов, и часть его, в данном случае 5250–5350 кГц, выбирается для дальнейших измерений. На рисунке 2 показан результат 24-часового измерения в этой полосе частот, который используется для определения уровня шума.

РИСУНОК 2

Выбрана полоса частот 5250–5350 кГц

© TSO NERA, спектрограмма, дата: 05.09.2003 г.



1753-02

4.2 Установочные параметры анализатора/приемника

В таблице 3 приводятся некоторые установочные параметры, обеспечивающие приемлемые результаты:

ТАБЛИЦА 3

Установочные параметры анализатора/приемника

Время измерения	Возможно получать результат каждые 10–20 секунд, поэтому целесообразно использовать время развертки, время сканирования или время обработки первичных данных продолжительностью 10–20 секунд
Частотный диапазон	Частотный диапазон наблюдения полностью зависит от использования выбранной полосы частот. Эта полоса частот даже может быть разделена на подполосы или частоты, в зависимости от конкретной полосы частот
RBW – разрешение по ширине полосы	В случае если используется метод сканирования частоты, то ширина полосы частот применяемого фильтра зависит от диапазона частот, разделенного требуемым разрешением. Метод первичного опробования требует, чтобы RBW не менее чем в два раза превышало частоту, на которой производится выборка. Необходимо определить коэффициент прямоугольности фильтра, для того чтобы можно было сравнить результаты измерений из различных приемников
Детектор	Для измерения мощности шума необходим точный среднеквадратический детектор; любой другой детектор не подходит. Если измеряемые величины оказываются менее чем на 10 дБ ниже уровня шума собственного оборудования, то такой детектор требует специального калибрования. Метод первичных данных должен использовать детектор выборок, поскольку обработка данных, включая расчеты среднеквадратичного значения, будут сделаны позднее
Делитель мощности	3 дБ Делитель мощности необходим для установления заданного комплексного сопротивления входа приемника, для того чтобы гарантировать невысокую погрешность измерений
Механизм предварительного выбора	Включен

4.3 Период измерения

Период измерения должен выбираться с учетом времени, в пределах которого мысленно можно ожидать значительных изменений в измеряемом шуме. Так, например, для того чтобы учесть дневные и ночные различия, необходимо производить измерения обычно для каждой ВЧ-полосы частот не менее чем за 24-часовой период времени. Для того чтобы учесть сезонные колебания, необходимо производить повторные измерения по нескольку раз в год. Целесообразно также производить измерения не менее чем за 24-часовой период времени по причинам, не связанным с распространением. Так, например, местный шум может на протяжении 24-часового периода изменяться ввиду того, что оборудование в течение рабочего дня находится в работающем состоянии.

4.4 Последующая обработка

Анализатор спектра сканирует полосу частот в несколько этапов (элементы разрешения по частоте). Обычное число элементов при современном анализаторе спектра равно 500–10 000. Если, например, время сканирования составляет 10 с, то результатом измерений является база данных (матрица) значений уровня сигнала $500 \times 8\,600 - 10\,000 \times 8\,600$. Для того чтобы можно было исключить некоторые части измерения и применить различные статистические методы, эта база данных должна быть обработана позднее с использованием специализированного программного обеспечения.

4.4.1 Порядок обработки данных и составление диаграмм

В таблице 4 приводятся различные этапы обработки данных для различных методов измерения.

ТАБЛИЦА 4
Этапы обработки данных

Этап обработки	Сканирование частот	Единственная частота	Первичное опробование
Скорректировать результаты с учетом влияния коэффициента K антенны (см. п. 4.5.1)	x	x	x
Скорректировать результаты с учетом влияния шума, вызываемого оборудованием (см. п. 4.5.2)	x	x	x
Учесть влияние прямоугольности/полосности фильтра (см. п. 4.5.3)	x	x	x
Построить в формате PDF диаграмму первичных выборок			x
Рассчитать среднеквадратическое значение для каждого блока первичных выборок			x
Отбор выборок, содержащих шум, путем: <ul style="list-style-type: none"> – распределения каждого цикла сканирования матрицы в порядке возрастания; – отделения шума от выборок, не содержащих шум, путем отбора 20% (или $x\%$) низших значений; – подтверждения правильности выбранного 20% (или $x\%$) соотношения (см. п. 4.6); – учета 20% (или $x\%$) значений (см. п. 4.5.4) 	x	x	Факультативно
Рассчитать усредненную величину от $x\%$ выбора от каждого цикла сканирования	x	x	Факультативно
Рассчитать из каждого 10-го или n -го цикла сканирования минимальное, среднее и максимальное значения	x	x	Факультативно
Составить диаграмму минимального, среднего и максимального результатов	x	x	Факультативно

4.5 Исправления, которые необходимо внести

На различных этапах процесса последующей обработки данных необходимо внести ряд исправлений, которые уже были упомянуты в п. 4.4.1.

4.5.1 Корректировка результатов с учетом влияния коэффициента K антенны

Каждая точка на измеряемой частоте должна быть скорректирована с надлежащим коэффициентом K , особенно для узкополосных антенн, используемых в "полупроширокополосных" измерениях. Следует иметь в виду, что антенны узкого диапазона частот не должны использоваться вне их частотного диапазона ввиду изменений в диаграмме антенны. Как указывалось в п. 3.3, применение поправочных коэффициентов зависит от ситуации, в которой производится измерение.

4.5.2 Корректировка с учетом влияния шума, вызываемого оборудованием

Сигналы, которые мы измеряем, в действительности представляют собой сигналы, наложившиеся на шум, вызываемый работой оборудования. Корректировка производится следующим образом. Производится измерение за короткий промежуток времени без подсоединенного источника (пассивная антенна), но с подсоединенными и надлежащим образом подключенными маломощными усилителями и теми же установочными параметрами, что и в первоначальном измерении. После этого производится отбор выборок с наименьшим значением с использованием такого же метода и такого же процента, что и во время первоначального измерения, и это значение линейно вычитается из значения измеренного среднего уровня.

4.5.3 Корректировка с учетом 20% или $x\%$ значений

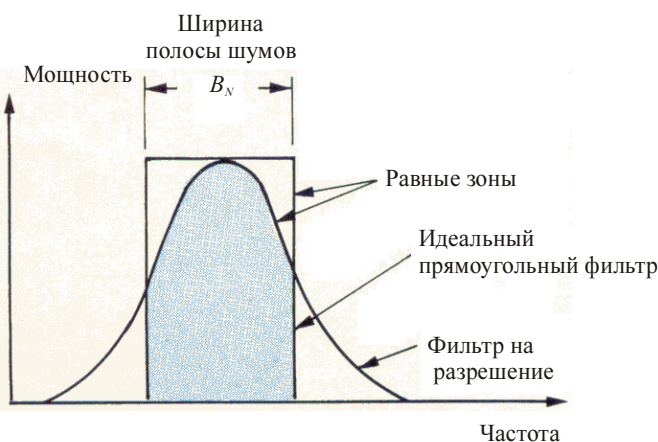
Компоненты вредного шума, например, несущие, отфильтровываются с использованием 20% метода. Однако полезный шум также отфильтровывается с использованием этого метода. Для компенсации внесенной погрешности необходимо применять поправочный коэффициент. Погрешность может быть определена с источником гауссового шума и фактическими параметрами настройки, которые должны использоваться в измерениях, как фильтр промежуточной частоты, видеочастотный фильтр, так и требуемое $x\%$ отношение. Для специфического типа шума необходимо использовать альтернативные источники шума.

4.5.4 Корректировка формы с учетом полосности фильтра

Хотя при управлении использованием спектра мы предпочитаем говорить об уровнях шума, шум почти всегда выражается как мощность/ширина полосы. Для такого выражения ширина полосы частот фильтра должна быть интегрирована и в основном представлена в прямоугольной форме.

РИСУНОК 3

Прямоугольная форма представления ширины полосы частот фильтра



1753-03

Если мы хотим сравнить результаты измерений, произведенных с двумя различными RBW, то мы должны к одному из результатов применить поправочный коэффициент, который равен отношению этих двух RBW. Таким образом, для того чтобы преобразовать измерения, произведенные с RBW_1 , в

измерения, произведенные с RBW_2 , измеренные значения (дБ) должны быть скорректированы следующим образом:

$$10 \log(RBW_2/RBW_1).$$

Для того чтобы получить результаты, независимые от ширины полосы частот, измеренные величины приводятся к уровню теплового шума, который может быть рассчитан следующим образом:

$$P_0 = k T_0 B,$$

где:

k : постоянная Больцмана = $1,38 \times 10^{-23}$ Вт/Гц

T_0 : температура окружающей среды (К)

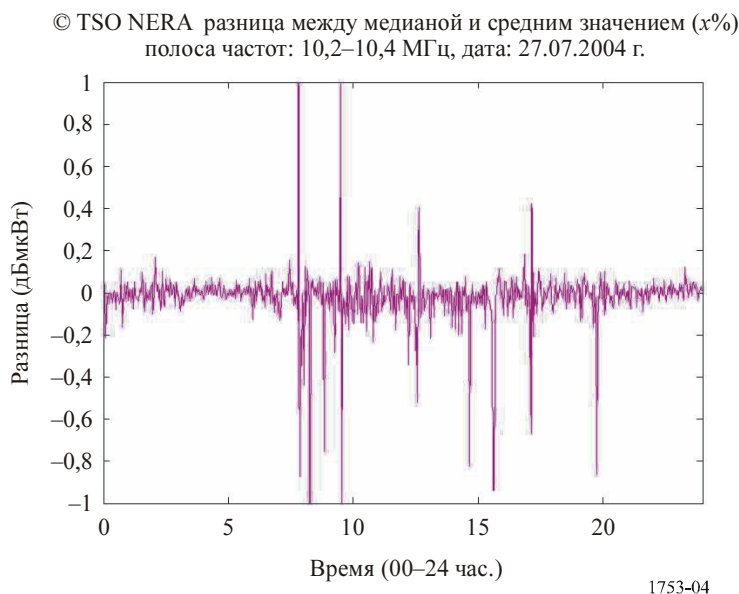
B : эквивалентная шуму ширина полосы частот фильтра измерения.

4.6 Подтверждения правильности выбранного x -процентного отношения

Для ВЧ-диапазона, 20% низших значений являются целесообразной величиной для определения уровня шума. Для других частотных диапазонов необходимо уточнить, является ли это 20% значение правильным или его необходимо заменить другой величиной. Допускается, что x % значения содержат только шумовые выборки. В этом случае медиана и среднее значение должны быть одними и теми же. На практике же возникает разница между медианой и средним значением, что объясняется, по-видимому, влиянием сигналов, не связанных с шумом.

РИСУНОК 4

Разница между медианой и средним значением (20% выборка)

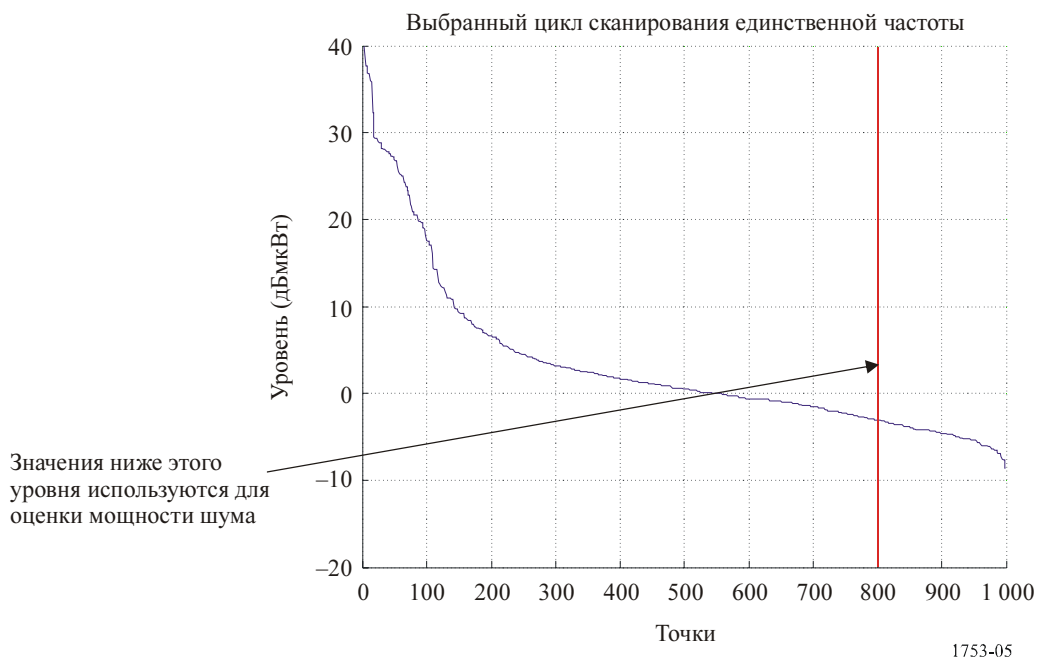


На примере вышеприведенной диаграммы видна разница между медианой и средним значением с постоянным 20% соотношением для всех циклов сканирования. Период наблюдения – 24 часа (с 00 час. 00 мин. до 23 час. 59 мин.). За период с 07 час. 00 мин. до 20 час. 00 мин. грозы приводят к появлению большой крутизны в распределении 20% выборки, отсюда большая разница между медианой и средним значением.

Другое испытание заключается в проверке, является ли кривая с правой стороны "20%" точки плавной и имеет ли незначительную крутизну. Оба метода испытаний требуют некоторой предварительной градуировки приборов. Кроме того, при таком расчете необходимо использовать значительное число выборок. Например, в этом виде проверки нельзя использовать одну единственную выборку.

РИСУНОК 5

Случайно выбранный цикл сканирования с отображенными значениями



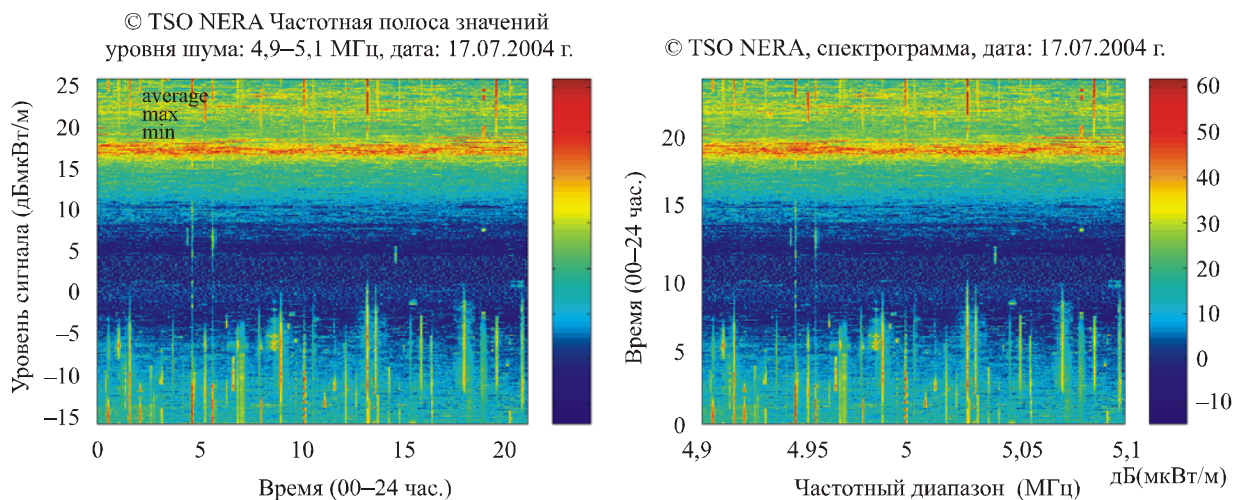
5 Представление результатов

В частотных диапазонах ниже 30 МГц уровень радишума в течение дня значительно изменяется. Поэтому рассчитанные результаты должны быть представлены за 24 часа.

Ниже приводится пример результатов измерений на частоте 5 МГц (4,9–5,1 МГц). Максимальное, среднее и минимальное значения за 24-часовой период (рассчитаны согласно п. 4.4.1) можно видеть на диаграмме слева, а спектрограмму, содержащую все циклы сканирования за 24 часа, – с правой стороны.

РИСУНОК 6

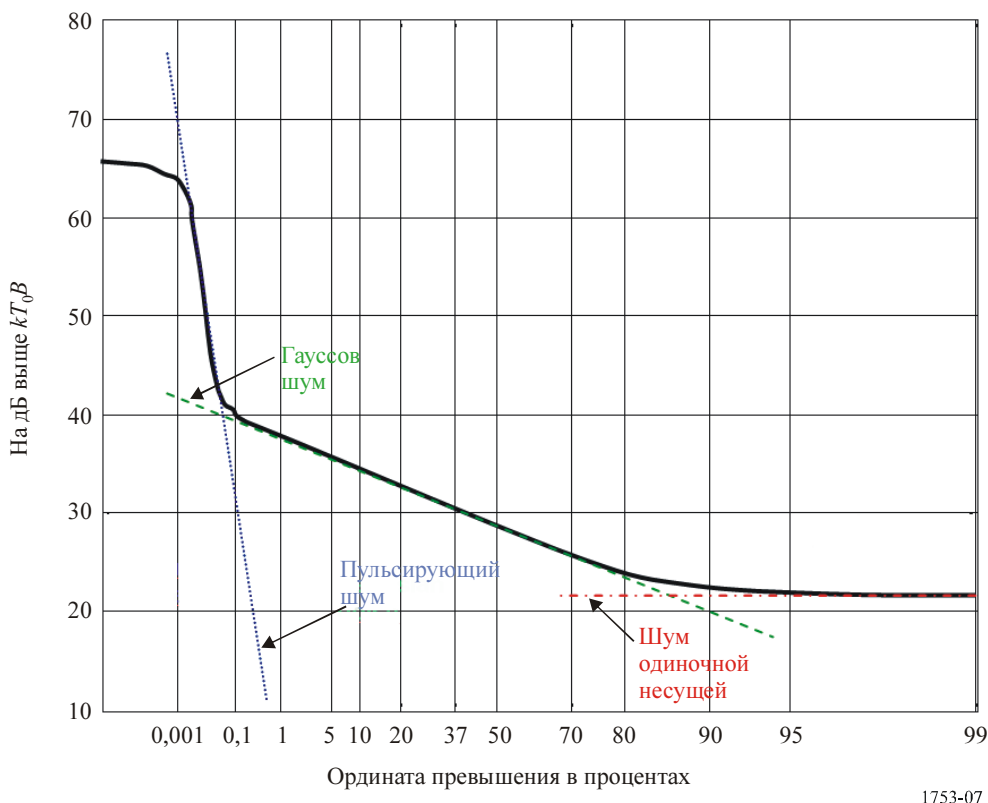
Среднее, максимальное и минимальное значения и спектрограмма за 24-часовой период



В диапазоне ОВЧ/УВЧ уровень радишума в течение дня чаще всего постоянный, однако он зависит главным образом от категории месторасположения, в котором производится измерение (например, город/офис, жилой квартал, сельская местность). Чтобы преобразовать значения всех выборок в одно собственное значение, следует выбрать так называемую диаграмму распределения вероятностей амплитуды (APD). Эта диаграмма показывает процентное соотношение выборок для измерений, превышающих некоторую амплитуду.

На рисунке 7 представлены результаты измерения на частоте 410 МГц в одном из жилых районов.

РИСУНОК 7
APD



Ось абсцисс на диаграмме APD имеет рэлеевскую шкалу. На этой шкале можно легко выделить различные типы шума: белый шум выделен в виде прямой линии с уклоном (в середине диаграммы). Нарастающий фронт слева указывает пульсирующий шум от одиночных источников. Выравнивание линии к правой стороне объясняется одиночными несущими от близлежащих источников.

Общий среднеквадратический уровень представляет собой 37% значение.