

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.1880-1
(08/2015)

Измерение и оценка занятости спектра

Серия SM
Управление использованием спектра



Международный
союз
электросвязи

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 МСЭ-R 1. 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	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская 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	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
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 МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2016 г.

© ITU 2016

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 SM.1880-1

Измерение и оценка занятости спектра

(2011-2015)

Сфера применения

Хотя автоматическое измерение занятости спектра не может полностью заменить визуальные наблюдения, оно вполне подходит для большинства случаев. Занятость частотного канала и занятость полосы частот должны иметь достаточный уровень точности, для того чтобы их можно было, в случае необходимости, сравнить или объединить. Используя соответствующий способ и надлежащий метод можно добиться более эффективного использования существующего оборудования.

Ключевые слова

Измерения занятости спектра, занятость частотного канала, интервал между повторными измерениями, час наибольшей нагрузки

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что растущий спрос на службы радиосвязи требует максимально эффективного использования радиочастотного спектра;
- b)* что эффективное управление использованием спектра может осуществляться удовлетворительно только в том случае, если управляющие использованием спектра лица надлежащим образом информированы о фактическом использовании спектра и тенденциях изменения спроса на спектр;
- c)* что результаты измерений занятости спектра обеспечат важные исходные данные для:
 - выделений и присвоений частот;
 - проверки жалоб, касающихся блокирования канала;
 - определения степени эффективности использования спектра;
- d)* что информация, полученная из баз данных частотных присвоений, не отражает степени загрузки каждого частотного канала;
- e)* что некоторые администрации присваивают ту же частоту нескольким пользователям для совместного использования;
- f)* что желательно сравнить результаты измерений, проведенных разными странами в приграничных районах или, например, в полосах воздушной или морской подвижных служб;
- g)* что в настоящее время администрации используют оборудование для автоматического контроля, включая соответствующие методы анализа записей, а также возможность оценки некоторых параметров, которые представляют значительную ценность при обеспечении более эффективного использования спектра;
- h)* что при разработке автоматизированной системы сбора данных о занятости спектра для использования их при управлении использованием спектра необходимо определить параметры, которые должны быть измерены, связь между этими параметрами, а также частоту проведения измерений, при которой обеспечивается статистическая достоверность данных;
- i)* что процедуры и методы измерения должны быть согласованы, с тем чтобы упростить обмен результатами измерений между разными странами;

j) что успешное объединение или сочетание данных контроля зависит не только от формата данных, в котором они хранятся, но также от среды и технических условий, в которых эти данные собираются,

признавая,

a) что в разных странах используются различные принципы и методы измерения занятости частотного канала;

b) что существует конкретный метод получения точных данных о занятости частотного канала и что такие данные, как правило, составляют основу для формирования занятости полос частот,

рекомендует,

1 чтобы для измерения занятости спектра использовались процедуры и методы измерения, определенные в Приложении 1;

2 чтобы в качестве руководства по измерению занятости спектра использовались и действующий Отчет МСЭ-R SM.2256 и действующий Справочник МСЭ по контролю за использованием спектра, а соответствующее оборудование отвечало требованиям, упомянутым в этом Справочнике;

3 чтобы использовался общий формат данных, то есть основанный на строке файл ASCII, полученный на основе формата данных радиоконтроля (RMDF), в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.1809.

Приложение 1

1 Введение

В настоящем Приложении описаны измерения занятости частотного канала, проводимые с использованием приемника или анализатора спектра. Для каждого частотного шага запоминается напряженность сигнала. Путем постобработки определяется процент времени, в течение которого сигнал превышает определенный пороговый уровень. Пример процедуры такой постобработки представлен в Отчете МСЭ-R SM.2256 (Приложение 1). Различные пользователи канала зачастую получают разные значения напряженности поля в приемнике. Это дает возможность вычислить и представить занятость, создаваемую различными пользователями.

2 Определения

Измерения занятости частотного канала: измерения каналов, которые необязательно разнесены на одинаковое расстояние между каналами и которые, возможно, распределены по нескольким различным полосам частот, производимые для определения факта занятости канала. Цель состоит в том, чтобы измерить как можно больше каналов за возможно короткое время.

Интервал между повторными измерениями: время, затрачиваемое на просмотр всех предназначенных для измерения каналов (определение факта занятости) и возвращение к первому каналу.

Время наблюдения: время, необходимое системе для выполнения требуемых измерений в одном канале. Это время включает любые затраты на обработку, например сохранение результатов в память/на диск.

Максимальное число каналов: максимальное число каналов, которые могут быть просмотрены в течение интервала между повторными измерениями.

Продолжительность передачи: средняя продолжительность отдельной радиопередачи.

Время интегрирования: интервал времени, в течение которого проводится отдельная оценка занятости. Как правило, 5 или 15 минут.

Длительность контроля: общее время, в течение которого производятся измерения занятости.

Предварительно установленный пороговый уровень измерения: если сигнал принимается с превышающим пороговым уровнем, канал считается занятым.

Час наибольшей нагрузки: наивысший уровень занятости канала в течение 60-минутного периода.

3 Требования

3.1 Оборудование

Подходящая система, способная производить измерения занятости частотного канала с помощью регистрации полос частот, будет состоять из радиоприемника или анализатора спектра, соответствующей антенны, кабеля, ПК/контроллера с адаптером интерфейса, подходящего программного обеспечения для сбора данных и постобработки.

Другие элементы могут включать GPS для мобильной/кочевой работы станции, модем для обеспечения связи в целях дистанционного обмена данными и осуществления управления, градуировку системы для отслеживаемых измерений напряженности поля, антенные переключатели, фильтры и аттенюаторы для многополосных и/или подверженных сильным ЭМП сред.

3.2 Соображения по выбору места расположения

Место расположения должно выбираться таким образом, чтобы ожидаемая мощность сигнала излучений, представляющих интерес, была выше ожидаемого порогового уровня. Отношение между этими двумя параметрами определит район, в пределах которого произведенное измерение будет относиться к любой станции, уровень эффективной излучаемой мощности (э.и.м.) или уровень эквивалентной изотропной излучаемой мощности (э.и.и.м.) которой превышает определенное значение.

Ожидаемая напряженность сигнала может быть оценена с учетом характеристик лицензированных станций, работающих в данном районе, их профиля излучений с использованием моделирующих программных средств. Пороговое значение может быть оценено с учетом чувствительности системы (минимального уровня шума) или предыдущих измерений, выполненных при аналогичных условиях на таком же оборудовании и с такой же конфигурацией.

В отсутствие какой-либо предварительной информации обследование места расположения можно провести с использованием переносного оборудования. Это особенно важно в том случае, если размещение оборудования окончательно и его будущие перемещения будет сложно осуществить.

В идеальном варианте результаты измерений должны сопровождаться отчетом об анализе, проведенном с целью выбора подходящего места расположения, с указанием района и источников излучения, которые должны быть учтены.

3.3 Параметры, связанные со временем

Существует тесная взаимосвязь между временем наблюдения, числом каналов, средней продолжительностью передачи и длительностью контроля.

Интервал между повторными измерениями напрямую зависит от времени наблюдения и числа каналов. На интервал между повторными измерениями также влияет *время обработки* (передача данных между приемником и контроллером), которое должно быть как можно короче.

Интервал между повторными измерениями = (Время наблюдения × Число каналов идентичной полосы пропускания) + Время обработки.

Время наблюдения в расчете на канал ограничено скоростью сканирования оборудования для контроля. Для поддержания достаточно короткого интервала между повторными измерениями при

использовании относительно медленного оборудования должно быть уменьшено число каналов, в которых проводятся измерения.

При применении этого уравнения к анализаторам спектра в случае, когда RBW (ширина полосы по разрешению) установлена равной пропускной способности канала, *число каналов* можно считать равным числу буферов¹ на каждую развертку, а время наблюдения равным времени запаздывания на каждый буфер.

Этот принцип также применяется к анализаторам БПФ (быстрое преобразование Фурье), особенно в том случае, если количество каналов, подлежащих сканированию, превышает размер БПФ, а развертка все еще выполняется. Однако в этом случае количество просканированных каналов должно быть разделено на количество каналов, оцененных по каждому отдельному БПФ.

Необходимо, чтобы система контроля осуществляла сканирование с приемлемой скоростью, чтобы определить отдельные короткие передачи.

Существуют следующие два принципиально отличающихся подхода к получению данных о занятости канала.

- a) Перехват любой передачи в наблюдаемой полосе. Этот подход требует максимального интервала между повторными измерениями, то есть половины минимального интервала времени включения или выключения какой-либо передачи в соответствующей полосе, в зависимости от того, какой из них короче. Этот метод обеспечивает точность, независимую от результата занятости, и может допустить меньшую длительность контроля.
- b) Статистический подход: В частности, когда рассматриваются пакеты цифровых систем, минимальное время передачи может быть слишком непродолжительным для практического применения вышеупомянутого принципа. Однако если время контроля достаточно продолжительное для того, чтобы получить достаточное количество выборок, то результат занятости будет корректным даже при гораздо более продолжительных интервалах между повторными измерениями, поскольку статистическая вероятность захвата передачи по сравнению с вероятностью ее пропуска такая же, как и рабочий цикл передачи. Однако точность статистического подхода зависит от показателя занятости, описываемого ниже.

Длительность контроля зависит от интервала между повторными измерениями, типовых ожидаемых продолжительностей передач, числа частотных каналов, предназначенных для сканирования, а также требуемой точности результатов.

Длительность контроля должна быть достаточной для того, чтобы можно было контролировать все соответствующие излучения. Если схема распределения времени не известна, то первоначальные оценки должны учитывать длительность, составляющую не менее 24 часов или кратную 24 часам. При контроле в течение одной недели наблюдается разница в занятости в разные рабочие дни и во время выходных. Продолжительность в семь периодов по 24 часа или более длительные периоды времени (например, один год) дают более надежную информацию о занятости.

3.4 Точность, уровень статистической достоверности и требуемое число выборок

В статистическом аспекте результат измерения занятости спектра – это оценка или статистическое значение, поэтому он имеет атрибуты точности и надежности. Точность отражает контроль ошибки и измеряется обычно как относительная точность или относительная погрешность, а также абсолютная погрешность, а надежность отражает достоверность результата и выражается как уровень достоверности. Само измерение может рассматриваться как процесс выборки из данной совокупности, а анализ результатов может рассматриваться, по существу, как процесс оценки совокупности с использованием ограниченного числа выборок.

На практике, для обозначения результата сбора и обработки данных используется аббревиатура *SO*, но, как отмечалось выше, этот результат не является истинным значением. Даже в тех случаях, когда в течение времени интегрирования оборудование контроля представляет лишь небольшое число

¹ Буферы в статистике означают группы (или категории или классы) данных, которые подпадают под некоторый диапазон значений.

выборки данных, расчет оценки занятости даст некоторое число значений, в большей или меньшей степени характеризующих занятость радиоканала. Однако эти значения будут соответствовать истинному значению занятости (SO) только после усреднения по значительному числу операций интегрирования, и при этом отдельные оценки могут существенно отличаться от SO .

С другой стороны, если осуществляется компьютерный контроль, возможно собрать большое число выборок, превышающее число, необходимое для определения занятости с требуемой точностью. Существует оптимальное число выборок, после которого дополнительные данные не могут значительно улучшить результаты. Оптимальное необходимое число выборок рассматривается в действующем Отчете МСЭ-R SM.2256.

Между точностью и интервалом между повторными наблюдениями не существует линейной зависимости. В случае измерения 100 каналов с достижимым на практике интервалом между повторными измерениями в 1 с, число каналов может быть увеличено до 1000 с интервалом между повторными измерениями в 10 с без чрезмерного воздействия на уровень достоверности/точность.

Между занятостью и числом выборок, необходимым для достижения требуемого уровня достоверности, существует линейная зависимость. Чем ниже занятость, тем больше потребуется выборок.

В таблице 1 проведено сравнение независимой выборки, которая является наиболее простым случаем, с использованием теоремы о центральном пределе, и зависимой выборки с использованием марковской цепи первого порядка, которые мало отличаются от более сложных математических моделей.

ТАБЛИЦА 1

Число зависимых и независимых выборок, необходимое для достижения относительной точности 10% и уровня достоверности 95% при различном проценте занятости (предполагается что период выборки составляет 1 с)

Занятость (%)	Число необходимых независимых выборок	Число необходимых зависимых выборок	Количество часов, необходимое для зависимой выборки
6,67	5 368	16 641	4,6
10	3 461	10 730	3,0
15	2 117	6 563	1,8
20	1 535	4 759	1,3
30	849	2 632	0,72
40	573	1 777	0,5
50	381	1 182	0,32
60	253	785	0,22
70	162	502	0,15

Качество измерений может также характеризоваться абсолютной точностью Δ_{SO} , которая определяет предел, до которого значительные отклонения в оценках от истинного значения SO считаются допустимыми, и достоверностью (уровень достоверности), которая отражает минимальную вероятность, с которой оценки занятости должны попадать в интервал от $(SO - \Delta_{SO})$ до $(SO + \Delta_{SO})$, называемый доверительным интервалом. Иногда удобнее объявлять границы доверительного интервала в форме $SO \cdot (1 \pm \delta_{SO})$, где $\delta_{SO} = \Delta_{SO}/SO$ – максимальная допустимая относительная погрешность оценки.

Для обеспечения достаточной точности и достоверности измерений при экономном использовании вычислительных ресурсов необходимо принимать во внимание следующие вопросы.

Точность и достоверность оценок занятости определяются не только числом выборок, полученных в течение *времени интегрирования*, но и характером сигналов, наблюдаемых в радиоканале. Наиболее

жесткие требования к числу аккумулярованных выборок и скорости работы оборудования контроля применяются в случае радиоканалов с преимущественно импульсными сигналами, длительность которых составляет менее одной тысячной доли *времени интегрирования*. Такой тип анализируемого сигнала характерен также в случае измерения занятости полосы частот. В случае каналов с импульсными сигналами, число выборок, требуемое для проведения точных и достоверных измерений, определяется, при прочих равных условиях, фактическим уровнем занятости канала, как это показано в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Число выборок, необходимое для достижения относительной погрешности δ_{SO} , не превышающей 10%, или абсолютной погрешности Δ_{SO} 1% при уровне достоверности 95%

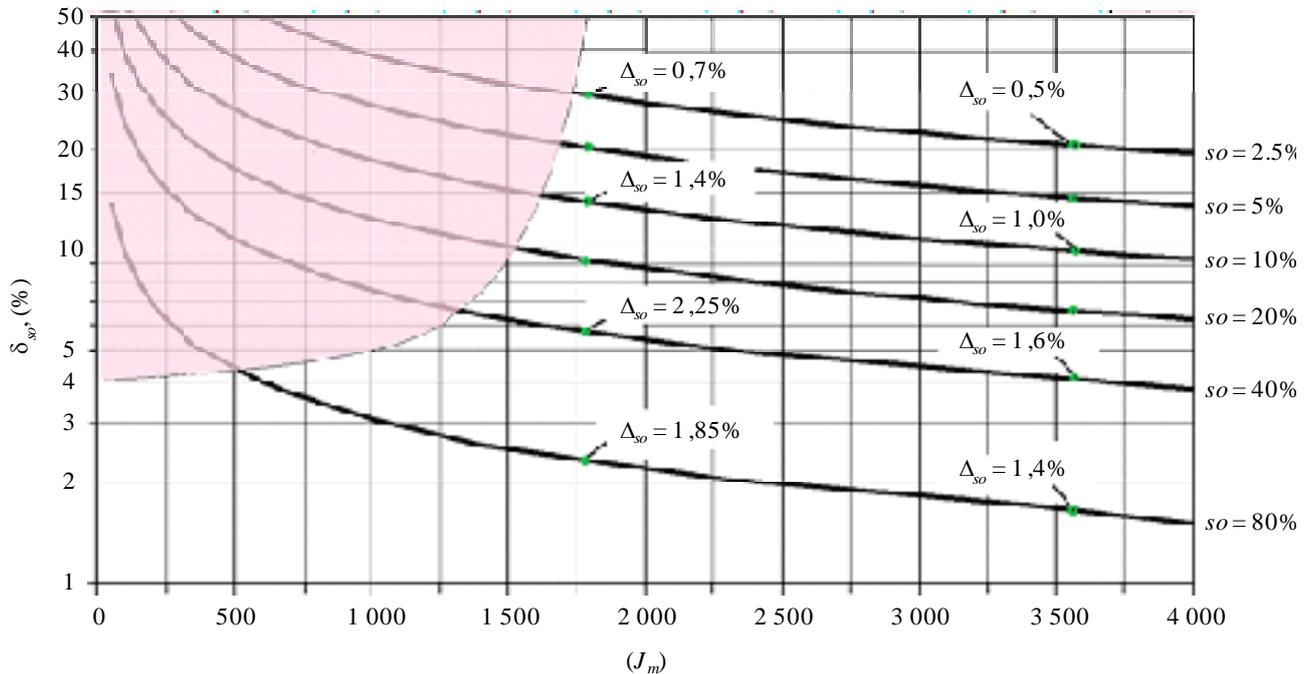
Занятость канала, %	Указанная относительная погрешность $\delta_{SO} = 10\%$		Указанная абсолютная погрешность $\Delta_{SO} = 1\%$	
	Результирующая величина абсолютной погрешности, %	Требуемое число независимых выборок	Результирующая величина относительной погрешности, %	Требуемое число независимых выборок
1	0,1	38 047	100,0	380
2	0,2	18 832	50,0	753
3	0,3	12 426	33,3	1 118
4	0,4	9 224	25,0	1 476
5	0,5	7 302	20,0	1 826
10	1,0	3 461	10,0	3 461
15	1,5	2 117	6,7	4 900
20	2,0	1 535	5,0	6 149
30	3,0	849	3,3	8 071
40	4,0	573	2,5	9 224
50	5,0	381	2,0	9 608
60	6,0	253	1,7	9 224
70	7,0	162	1,4	8 071
80	8,0	96	1,3	6 149
90	9,0	43	1,1	3 459

Ошибки измерения для разных значений занятости и различного числа обработанных выборок данных могут оцениваться с использованием приведенного на рис. 1 графика. Нанесенные на кривые зеленые точки указывают значения абсолютной погрешности для определенного конкретного количества выборок, а именно для 1600 и 3600. Верхняя левая часть графика является затененной невидимой областью, которая показывает, что в силу недопустимого возрастания погрешности не рекомендуется оценивать занятость по такому малому числу выборок. Более подробная информация содержится в Приложении 1 к Отчету МСЭ-R SM.2256.

Однако, если в радиоканале наблюдаются сигналы большей длительности, требуемое число выборок будет зависеть в основном от среднего числа сигналов, наблюдаемых в течение времени интегрирования, и в целом будет заметно ниже, чем в случае импульсных сигналов. Соображения, касающиеся оценки занятости каналов с сигналами значительной длительности, приведены в Приложении 1 к Отчету МСЭ-R SM.2256.

РИСУНОК 1

Зависимость относительной погрешности оценок занятости (δ_{so} , %) от числа аккумулярованных выборок (J_m) при уровне достоверности 95% для каналов с импульсными сигналами



SM.1880-01

3.5 Соображения, касающиеся измерения занятости

3.5.1 Определение излучений

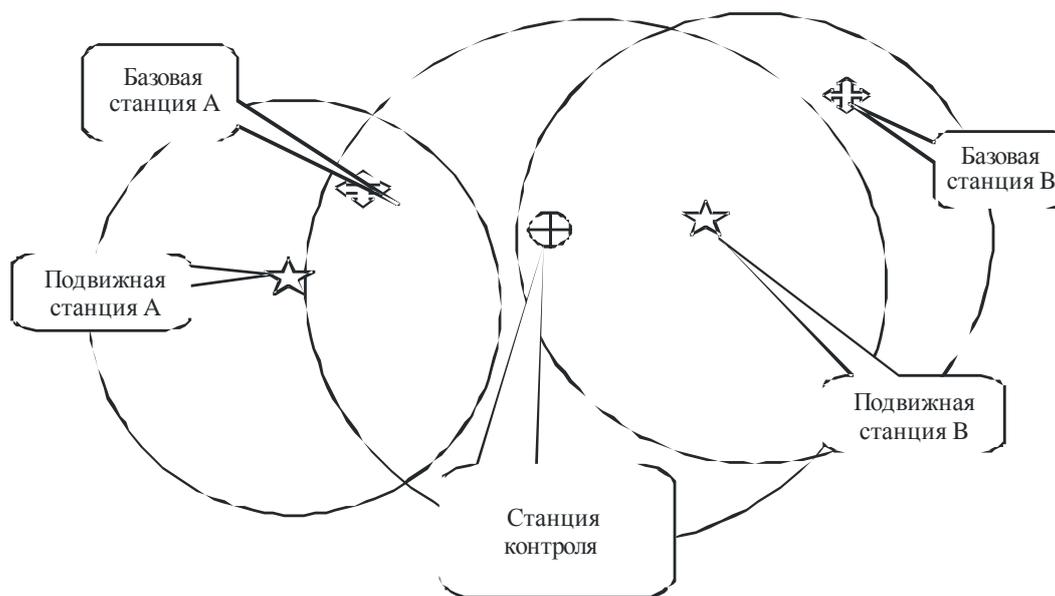
Простая регистрация уровня не позволяет отличить полезные излучения от нежелательных излучений, если несколько пользователей работают на одной частоте в пределах зоны покрытия системы контроля. Все излучения, если они превышают выбранное пороговое значение, рассматриваются как занятые каналы.

Использование современного программного обеспечения реального времени и программного обеспечения для постобработки может позволить отличать разных пользователей, принимая во внимание информацию, например, о напряженности поля или направлении прибытия в приемник, информацию о селективном коде, характеристиках модулирования.

3.5.2 Контроль передач подвижных станций

Возможен случай, когда полезный подвижный объект (подвижная станция А) расположен намного дальше от станции контроля, чем своя базовая станция пользователя (базовая станция А). Поэтому уровень принимаемого сигнала может быть ниже установленного порогового уровня контроля, хотя и достаточно большим для использования на соответствующей базовой станции (см. рис. 2).

РИСУНОК 2
Контроль передач подвижных станций



SM.1880-02

И наоборот, сигналы от подвижного объекта пользователя вне зоны покрытия (подвижная станция В) могут приниматься на станции контроля, но не будут слышны на основной базовой станции пользователя.

Любая из вышеописанных ситуаций может привести к получению недостоверных результатов, поскольку результаты занятости могут оказаться показательными не для всей сети подвижной связи, а только для района, охваченного местом контроля.

3.5.3 Распространение

При установлении пороговых уровней приемника следует также учитывать условия распространения, а распространение следует контролировать в течение всего периода измерения.

3.6 Представление и анализ собранных данных

При необходимости результаты могут запоминаться каждые 5, 15, 30 или 60 минут. На основе этих данных можно готовить презентации в виде таблиц, текстовых графиков, линейных графиков/гистограмм и карт. После того как из данных выборки получена необходимая информация, эти необработанные данные выборки можно будет исключить.

Система представления должна как минимум содержать расположение станции контроля, дату и период измерения, частоту, тип пользователя(ей), использованный пороговый уровень, занятость в час наибольшей нагрузки, а также интервал между повторными измерениями.

3.6.1 Типовой пример напряженности поля, используемой для проведения различия между пользователями

В случае если регистрируется напряженность поля, из результатов измерения можно извлечь дополнительную информацию.

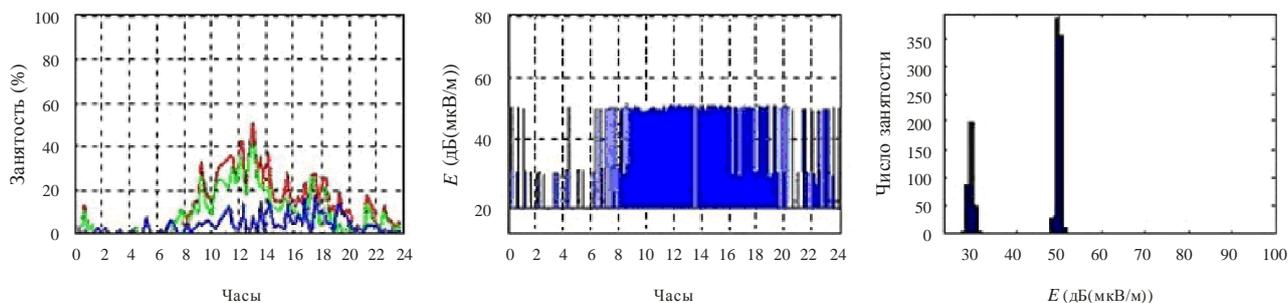
Левый график на рис. 3 широко используется для представления занятости с разрешением 15 минут обычно только с одной кривой. Красной кривой на левом графике показана общая занятость, создаваемая всеми пользователями данного канала. Зеленой кривой на левом графике изображена занятость, которая создается станцией, принимаемой с уровнем около 49 дБ(мкВ/м) (см. правый график), а синей кривой обозначена занятость, создаваемая всеми остальными пользователями; в данном случае вторым пользователем, принимаемым с уровнем около 29 дБ(мкВ/м).

На среднем графике показаны уровни, полученные за определенный период времени. Оценены только уровни, превышающие пороговый уровень (здесь: 20 дБ(мкВ/м)).

На правом графике показано статистическое распределение полученных уровней напряженности поля. В этом примере уровень в 49 дБ(мкВ/м) был измерен около 380 раз в течение 24-часового периода, 50 дБ(мкВ/м) – около 350 раз и т. д.

РИСУНОК 3

Усовершенствованная обработка данных о занятости



SM.1880-03

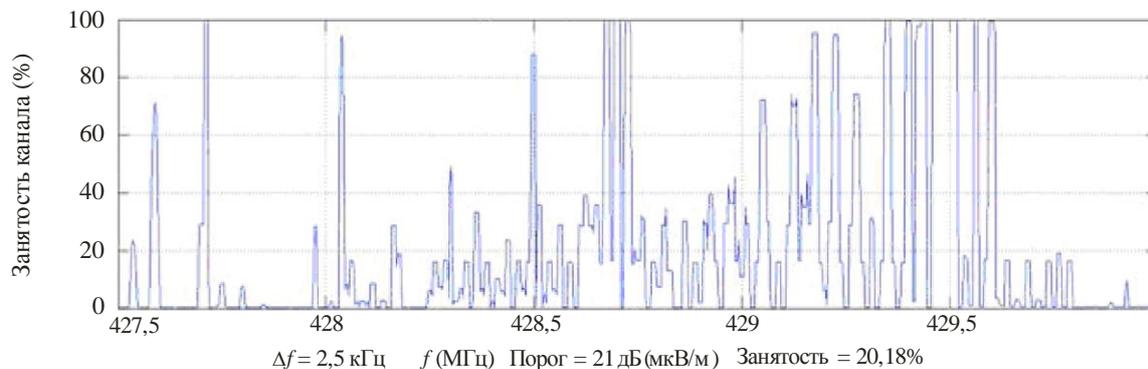
3.6.2 Представление занятости полосы частот в процентах

Помимо представления занятости каждого отдельного канала, должна также представляться занятость всей измеренной полосы частот.

На рис. 4 изображена средняя занятость за 24 часа по каждому отдельному частотному шагу.

РИСУНОК 4

Средняя занятость за 24 часа



SM.1880-04

В качестве примера, предполагается, что сканирование какой-либо полосы частот можно осуществить за 1000 шагов в течение 10 с. На каждом шаге имеется 8640 значений напряженности поля в течение 24-часового периода. Если в данном случае пороговый уровень в канале/шаге превышает 4320 раз, то будет показана занятость 50%. На полученном графике, который представлен выше, отсутствует какая бы то ни было информация о времени и нет указаний на то, когда наблюдалась эта 50-процентная занятость. Это ограничение должно учитываться при использовании представления этого типа.

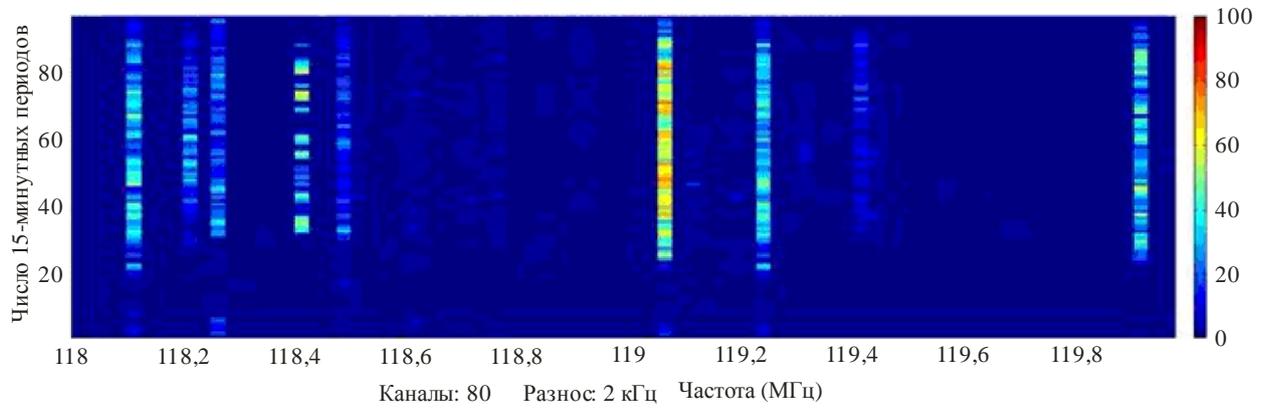
3.6.3 Представление занятости полосы частот с помощью цветов

Для того чтобы получить быстрый обзор, занятость в расчете на канал и при выбранном временном разрешении (как правило, 15 минут) можно также представлять в цвете. На рис. 5 приведен пример.

При данном представлении информация о времени по-прежнему доступна (96 значений за 24 часа). Цветные столбики представляют занятость (а не напряженность поля). На оси Y, слева, указывается время, но не в часах, а в 96 периодах по 15 минут.

РИСУНОК 5

Представление занятости полосы частот с помощью цветов (спектрограмма)



SM.1880-05