

## ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ПЕРЕСМОТРУ ОТЧЕТА МСЭ-R SM.2256

### **Измерения и оценка занятости спектра**

#### **Вводные замечания**

Своим вкладом Doc. 1С/83 от 12 февраля 2014г. Российская Федерация предложила изменения в тексте Рекомендации МСЭ-R SM.1880 «Измерение занятости спектра», направленные на внесение большей ясности в данной достаточно сложной сфере. Собрание РГ 1С в июне 2014г., в ожидании дополнительных вкладов по данной тематике, решила опубликовать представленный материал от имени РГ 1С в Doc. 1С/119, Annex 1, от 23 июня 2014г., с тем, чтобы вернуться к обсуждению этой тематики на следующем собрании РГ 1С в июне 2015г.

Во время обсуждения Doc. 1С/83 на собрании РГ 1С в июне 2014г., среди прочего, было высказано мнение, что представленный материал слишком велик и детален для довольно краткого текста Рекомендации МСЭ-R SM.1880. Было предложено подумать над возможностью его разделения на две части: основные положения внести в Рекомендацию МСЭ-R SM.1880, а оставшиеся пояснения – в Отчет МСЭ-R SM.2256 «Измерения и оценка занятости спектра».

На тот случай, если РГ 1С на своем собрании в июне 2015г. согласится с таким разделением материала, в данном вкладе предлагается та его часть, которую предлагается внести в Отчет МСЭ-R SM.2256. Часть, предлагаемая для внесения в Рекомендацию МСЭ-R SM.1880, приведена в Документе 1С/.....(RUS-1). Представлены и некоторые другие изменения в Отчете МСЭ-R SM.2256, которые так или иначе связаны с аспектами, изложенными в Doc. 1С/119, Annex 1.

#### **Предложение**

Предлагаемый проект пересмотра Отчета МСЭ-R SM.2256 представлен в Приложении<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Attachment

ПРИЛОЖЕНИЕ<sup>2</sup>

## ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2256-1

## Измерения и оценка занятости спектра

(2012-.....)

**Резюме**

Проведение измерений и анализа занятости спектра в современных радиочастотных (РЧ) средах с постоянно возрастающей плотностью цифровых систем и полосами частот, совместно используемыми различными службами радиосвязи, становится все более сложной и актуальной задачей для служб радиоконтроля. На основе Рекомендаций МСЭ-R SM.1880, МСЭ-R SM.1809 и информации, приведенной в Справочнике МСЭ по контролю за использованием спектра, изданном в 2011 году, в настоящем проекте нового Отчета представлено значительно более подробное обсуждение различных подходов к измерениям занятости спектра, связанных с ними возможных проблем и путей их решения.

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение	
2	Термины и определения	
2.1	Ресурс спектра	
2.2	Измерение занятости частотного канала	
2.3	Измерение занятости полосы частот	
2.4	Зона измерений	
<b>2.5</b>	<b>Продолжительность проведения контроля (<math>T_T</math>)</b>	
2.6	Типичное время измерения ( $T_M$ )	
2.7	Время наблюдения ( $T_{Obs}$ )	
2.8	Интервал между повторными измерениями ( $T_R$ )	
2.9	Время занятости ( $T_O$ )	
2.10	Время интеграции ( $T_I$ )	
2.11	Максимальное количество каналов ( $N_{Ch}$ )	
2.12	Продолжительность передачи	
2.13	Пороговый уровень	
2.14	Час наибольшей нагрузки	
2.15	Задержка доступа	
2.16	Занятость частотного канала (FCO)	
2.17	Занятость полосы частот (FBO)	
2.18	Занятость ресурса спектра (SRO)	
3	Параметры измерений	

<sup>2</sup> ATTACHMENT

- 3.1 Избирательность
  - 3.2 Отношение сигнал/шум
  - 3.3 Динамический диапазон
  - 3.4 Пороговое значение
    - 3.4.1 Предварительно заданное пороговое значение
    - 3.4.2 Динамическое пороговое значение
  - 3.5 Временные интервалы при проведении измерений
  - 3.6 Направленность измерительной антенны
  - 4 Соображения по выбору площадки для размещения станции контроля
  - 5 Процедура измерения
    - 5.1 Измерение FCO при помощи сканирующего приемника
    - 5.2 Измерение FBO при помощи анализатора с качанием частоты
    - 5.3 Измерение FBO методом БПФ
  - 6 Расчет занятости
    - 6.1 Комбинирование выборок измерений на соседних частотах
    - 6.2 Классификация излучений в полосах частот с каналами различной ширины
  - 7 Представление результатов измерений
    - 7.1 Трафик в отдельном канале
    - 7.2 Занятость в нескольких каналах
    - 7.3 Занятость полосы частот
    - 7.4 Занятость ресурса спектра
    - 7.5 Доступ к результатам измерений
  - 8 Специальные виды измерений занятости
    - 8.1 Занятость частотного канала в полосах частот, распределенных системам "точка-точка" фиксированной службы
    - 8.2 Разделение занятости для разных пользователей совместно используемого частотного ресурса
    - 8.3 Измерение занятости спектра сетей БЛВС (беспроводных локальных вычислительных сетей) в диапазоне ISM 2,4 ГГц
    - 8.4 Определение каналов, необходимых для перехода от аналоговых к цифровым транкинговым системам
    - 8.5 Расчет использования радиочастот различными службами радиосвязи в совместно используемых полосах
  - 9 Соображения, касающиеся погрешности измерений
  - 10 Интерпретация и использование результатов
    - 10.1 Общие сведения
    - 10.2 Интерпретация результатов измерений занятости в совместно используемых каналах
    - 10.3 Применение данных о занятости для оценки использования спектра
  - 11 Выводы
- Приложение 1 – Вероятностный подход к измерениям занятости спектра и соответствующие процедуры обработки результатов измерений

- A Введение
- A1 Общее описание данного подхода
- A2 Концепция занятости спектра
  - A2.1 Занятость спектра как статистическая концепция
  - A2.2 Погрешность измерения занятости
  - A2.3 Точность и доверительный уровень измерения занятости
  - A2.4 Параметры, влияющие на статистическую достоверность измерений занятости
    - A2.4.1 Импульсные и продолжительные сигналы и скорость потока сигналов
    - A2.4.2 Относительная нестабильность интервала между повторными измерениями
    - A2.4.3 Применение измерительных систем типа "lock-in" и "lock-out" для измерения занятости
- A3 Измерительные процедуры
  - A3.1 Рекомендации по измерению занятости при помощи систем "lock-in"
    - A3.1.1 Сбор данных
    - A3.1.2 Правило измерения занятости
    - A3.1.3 Подбор количества выборок при измерении занятости в радиоканалах с продолжительными сигналами
    - ~~A3.1.4 Влияние неверного определения количества выборок на доверительный уровень при измерении занятости~~
  - A3.2 Рекомендации по измерению занятости при помощи измерительных систем "lock-out"
    - A3.2.1 Сбор данных
    - A3.2.2 Правило расчета занятости
    - A3.2.3 ~~Установление~~ Подбор количества выборок при измерении занятости в радиоканалах с продолжительными сигналами
    - A3.3 Подбор количества выборок при измерении занятости в каналах с импульсными сигналами
    - A3.4 Влияние уменьшенного количества выборок на доверительный уровень и погрешность измерения занятости .....
- A4 Типичные примеры влияния скорости потока сигналов в радиоканале на доверительный уровень расчетов занятости спектра
  - A4.1 Пример А. Единственный сигнал в течение времени интеграции
  - A4.2 Пример В. Двенадцать сигналов в течение времени интеграции
  - A4.3 Пример С. Несколько десятков сигналов в течение времени интеграции
- Справочная литература к Приложению А .....

**Введение – раздел А2 «Концепция занятости спектра» Приложения 1 Отчета (включительно)**

Без изменений

## A3 Измерительные процедуры

### A3.1 Рекомендации по измерению занятости при помощи систем "lock-in"

#### A3.1.1 Сбор данных

Для измерения занятости следует, как минимум, определить для каждого временного периода интеграции количество выборок с занятым состоянием канала,  $J_o$ .

При наличии в канале преимущественно продолжительных сигналов для обеспечения достоверности измерений требуется также информация о скорости потока сигналов,  $\lambda$ . Если эта информация отсутствует, то целесообразно отслеживать распределение по группам занятых и свободных состояний с целью определения количества  $V_r$  сигналов, обнаруженных в канале в течение  $r$ -го временного периода интеграции. Количество обнаруженных сигналов,  $V_r$ , считается равным количеству изменений со свободного состояния на занятое, и наоборот.

#### A3.1.2 Правило измерения занятости

Правило измерения занятости, ранее обсуждавшееся в разделе A2.2, выглядит следующим образом:

$$SOCR = J_o / J_I, \quad (A7)$$

где:

$SOCR$  : результат расчета занятости спектра;

$J_o$  : количество занятых состояний канала, обнаруженных в течение времени интеграции;

$J_I$  : общее количество выборок состояний канала на протяжении времени-интеграции.

#### A3.1.3 Подбор количества выборок при измерении занятости в радиоканалах с продолжительными сигналами

Требования к измерительному оборудованию и процедурам расчетов занятости при обработке соответствующих данных будут различными для каналов с продолжительными и импульсными сигналами. Для каналов с продолжительными сигналами требования в первую очередь определяются количеством сигналов в пределах времени интеграции. Для каналов, занятых импульсными сигналами, достоверность зависит непосредственно от значения занятости радиоканала ([см. ниже п. A3.3](#)).

Для радиоканалов с продолжительными сигналами количество выборок, необходимых для обеспечения достоверности  $P_{SOC}$  с допустимой абсолютной погрешностью измерения  $\Delta_{SO}$ , может быть вычислено следующим образом:

$$J_{I \min} = \frac{x_p}{\Delta_{SO}} \cdot \frac{\sqrt{V_{avr} \cdot (1,06 + \delta T^2)}}{2}, \quad (A8)$$

где:

$J_{I \min}$  : требуемое<sup>3</sup> рекомендуемое (минимально необходимое) количество выборок;

$\Delta_{SO}$  : максимально допустимая абсолютная погрешность измерения, соответствующая половине доверительного интервала;

$\delta T$  : относительная нестабильность длительности интервала между повторными измерениями;

$V_{avr}$  : среднее количество сигналов, ожидаемых в течение времени интеграции при измерении занятости;

$x_p$  : процентная точка интеграла вероятности, соответствующая требуемому значению доверительного уровня  $P_{SOC}$ , для расчета которого можно порекомендовать следующее приближение:

<sup>3</sup> Required

$$x_p = y - \frac{2,30753 + y \cdot 0,27061}{1 + y \cdot (0,99229 + y \cdot 0,04481)}, \quad (A9)$$

где:

$$y = \sqrt{2 \cdot \ln \left( \frac{2}{1 - P_{SOC}} \right)}. \quad (A10)$$

Среднее количество сигналов,  $V_{avr}$ , ожидаемых в течение времени интеграции, используемое в уравнении (A8), может быть спрогнозировано следующим образом:

$$V_{avr} = \lambda \cdot T_I, \quad (A11)$$

где:

$\lambda$ : скорость потока сигналов в канале (см. п. A2.4.1);

$T_I$ : продолжительность времени интеграции при измерении занятости.

Для доверительного уровня  $P_{SOC} = 95\%$  с допустимой абсолютной погрешностью измерения,  $\Delta_{SO} = 0,5\%$ , уравнение (A8) для систем "lock-in" может быть представлено как

$$J_{Imin} = 194,2 \cdot \sqrt{V_{avr} \cdot (1,06 + \delta T^2)}. \quad (A12)$$

Примеры применения уравнения (A12) для радиоканалов с различными значениями скорости потока сигналов приведены в таблице A1.

Согласно данным, приведенным в таблице A1, для каналов с продолжительными сигналами и низким уровнем занятости (и, как следствие, малой скоростью потока сигналов  $\lambda$ ) статистически достоверные результаты измерений могут быть получены при количестве выборок  $J_I < 10^3$ , что не соответствует информации, приведенной в TABLE 4.10-1 Справочника МСЭ по радиоконтролю спектра [A.4] в [A.4], [A.5]\*. Расхождения объясняются тем фактом, что в приведенной здесь таблице A1 данные получены с ограничением не по относительной, а по абсолютной погрешности измерений, не предполагающей какое-либо сужение доверительного интервала для случаев низкой занятости радиоканала (см. п. A2.3). При измерении занятости в каналах с продолжительными сигналами источником погрешности при измерении занятости является отсутствие точных сведений о моментах данных для моментов времени, в которых состояние канала изменяется с занятого на свободное, и наоборот [A.3]. Следовательно, чем больше изменений состояния канала происходит в течение времени интеграции, тем выше потенциальная погрешность измерения. Именно по этой причине для обеспечения статистической достоверности результатов в уравнении (A7) необходимо увеличивать количество выборок не по мере того, как возрастает значение занятости, а по мере того, как растет среднее количество сигналов, ожидаемых в канале на протяжении времени интеграции. Таким образом, установив допустимую абсолютную погрешность,  $\Delta_{SO}$ , для каналов как с низкой, так и с высокой занятостью, но при этом с небольшим количеством изменений состояния (например, каналы, занятые радиовещательными станциями), достаточно выполнить всего лишь от 632 до 703 циклов измерений. Только для каналов, в которых отмечается большое количество изменений состояния на протяжении времени интеграции, необходимо значительное количество выборок.

\*Исключение ссылки на [A.5] необходимо в том случае, если будут приняты изменения в Рекомендации МСЭ-R SM.1880 в соответствии с предложениями, приведенными в Doc. 1C/119, Annex 1, или в Документе 1C.....(RUS-1).

ТАБЛИЦА А1

**Количество** выборок для канала с продолжительными сигналами, **необходимое** **требуемое** для обеспечения абсолютной погрешности измерения занятости,  $\Delta_{SO}$ , не более  $\pm 0,5\%$  с доверительным уровнем  $P_{SOC} = 95\%$ , при измерениях с относительной нестабильностью значений интервала между повторными измерениями,  $\delta T \leq 0,5$

Скорость потока сигналов в канале, $\lambda$ (среднее количество сигналов, наблюдаемых в течение времени интеграции при измерениях занятости), не превышающая	Рекомендуемое-Требуемое количество выборок
10	703
30	1 217
50	1 572
100	2 223
300	3 850
500	4 970

ПРИМЕЧАНИЕ. – Данные в правом столбце таблицы даны при условии использования уравнения (А7) для измерительных систем "lock-in" или уравнения (А19А17) для измерительных систем "lock-out".

Если скорость потока сигналов,  $\lambda$ , на протяжении времени интеграции заранее не известна, то выбранное значение рекомендуется устанавливать с некоторым запасом. Для корректировки скорости потока сигналов во время проведения измерений рекомендуется использовать следующее уравнение:

$$\lambda_{(r+1)} = (w\lambda_r + V_r)/(w+1), \quad (A13)$$

где:

- $\lambda_{(r+1)}$ : скорость потока, ожидаемая в следующем временном периоде интеграции;
- $\lambda_r$ : скорость потока для текущего (истекшего) времени интеграции;
- $V_r$ : количество сигналов, определенное в текущем времени интеграции;
- $w$ : весовой коэффициент, определяющий время отклика процедуры адаптации, выбираемый обычно в диапазоне  $5 \leq w < 20$ .

Для начала расчета с помощью уравнения (А13) требуется начальное значение  $\lambda_0$ , которое, как правило, заранее не известно. Целесообразно выбрать максимальное из всех ожидаемых значений в пределах заданного частотного диапазона, которое соответствует худшему случаю.

~~Для каналов с импульсными сигналами при помощи расчета (А7) можно также получить объективные результаты измерения занятости, но при этом требуется гораздо большее количество выборок для достижения доверительного уровня  $P_{SOC}$  при допустимой абсолютной погрешности измерения,  $\Delta_{SO}$ . Необходимое количество выборок,  $J_{min}$ , может быть рассчитано следующим образом:~~

~~$$J_{min} = SO \cdot (1 - SO) \cdot \left( \frac{x_p}{\Delta_{SO}} \right)^2, \quad (A14)$$~~

~~где:~~

- ~~$J_{min}$ : рекомендуемое (минимально необходимое) количество выборок;~~
- ~~$SO$ : занятость радиоканала с импульсными сигналами;~~
- ~~$x_p$ : процентная точка интеграла вероятности (см. (А9));~~
- ~~$\Delta_{SO}$ : максимальная допустимая абсолютная погрешность измерений, соответствующая половине доверительного интервала.~~

При доверительном уровне  $P_{SO} = 95\%$  и максимальной допустимой абсолютной погрешности измерения,  $\Delta_{SO} = 0,5\%$ , уравнение (A14) может быть выражено следующим образом:

$$J_{I \min} = 153664 \cdot SO \cdot (1 - SO) \quad (A15)$$

Для сигналов импульсного типа достоверность расчета (A7) определяется самым значением занятости и практически не зависит от нестабильности расположения выборок вдоль оси времени, а также от типа выполняемых измерений "lock in" или "lock out". Использование уравнения (A15) для радиоканалов с различными значениями занятости показано в таблице A2.

#### A3.1.4 Влияние неверного определения количества выборок на доверительный уровень при измерении занятости

Уменьшение количества выборок,  $J_s$ , в  $K$  раз, по сравнению с рекомендуемым в таблицах A1 и A2, приводит к снижению надежности или к увеличению доверительного интервала пропорционально коэффициенту  $K$ .

Предположим, к примеру, что нам необходимо измерить занятость радиоканала при скорости потока сигналов, не превышающей 50 сигналов за временной период интеграции. Из последнего столбца таблицы A1 видно, что в данном случае рекомендованное число выборок состояний каналов составляет 1572. Согласно данной рекомендации расчетное значение занятости (A7) отклонится от истинного значения не более чем на  $\Delta_{SO} = 0,5\%$  при доверительном уровне  $P_{SO} = 95\%$ . С другой стороны, если теперь предположить, что система фактически способна осуществлять всего 393 выборки состояний канала за время интеграции, то есть в четыре раза меньше рекомендуемого количества, то среднее значение занятости будет, как и ранее, измерено с достаточной точностью, однако диапазон, внутри которого истинное значение занятости определяется с доверительным уровнем 95%, увеличивается в четыре раза до  $\pm 2\%$  с обеих сторон результата измерения.

Недостаточное количество выборок,  $J_s$ , может также наблюдаться в том случае, если сбор данных для расчета занятости преждевременно прекращается. В таких случаях расчет занятости по формуле (A7) по-прежнему дает объективные результаты, но доверительный уровень результатов уменьшается, как и в примере, приведенном выше.

ТАБЛИЦА A2

Рекомендуемое количество выборок для канала с импульсными сигналами, необходимое для обеспечения абсолютной погрешности измерения занятости,  $\Delta_{SO}$ , не превышающей  $\pm 0,5\%$ , при доверительном уровне  $P_{SO} = 95\%$

Занятость радиоканала, $SO$ (%)	Рекомендуемое количество выборок, $J_s$	Рекомендуемый интервал между повторными измерениями, $T_{\#}$ (мс)	
		при $T_s = 5$ мкс	при $T_s = 15$ мкс
5	7 200	41,1	123,2
10	12 830	21,7	65,0
20	24 586	12,2	36,6
25	24 960	8,6	25,7
50	28 416	7,8	22,4

ПРИМЕЧАНИЕ. Необходимое количество выборок для канала с занятостью  $SO^* > 50\%$  совпадает с количеством выборок при занятости  $SO = 1 - SO^*$ . Другими словами, для обеспечения статистически достоверных измерений, например, в канале с занятостью 80% необходимо выбрать значение  $J_s = 24 586$ , как и при занятости  $SO = 1 - 0,80 = 20\%$ .



### А3.2 Рекомендации по измерению занятости при помощи измерительных систем "lock-out"

Соотношение (А7) может также использоваться для расчета занятости в системах "lock-out", однако статистическая достоверность расчета занятости в таких системах заметно снижается по мере увеличения относительной нестабильности,  $\delta T$ . Качество расчета может быть повышено путем точного определения моментов времени, в которые проверяется состояние радиоканала. Вообще говоря, в процессе измерения необходимо контролировать не количество появлений свободных или занятых состояний, а продолжительность времени, в течение которого данный канал находится в занятом или свободном состоянии.

#### А3.2.1 Сбор данных

Для расчета занятости необходимо как минимум в каждом временном периоде интеграции фиксировать фактическую длительность времени интеграции,  $T_{AI}$ , а также среднюю продолжительность времени  $T_O$ , в течение которого канал находится в занятом состоянии.

В начале измерений следует задать значения –  $T_{AI} = 0$  и  $T_O = 0$ , а также определить состояние канала, соответствующее времени  $t_0$ . После каждого очередного наблюдения значение  $T_{AI}$  должно быть увеличено до продолжительности интервала между повторными измерениями  $t_{Rj}$ , определяемого уравнением (А4):

$$T_{AI}(j) = T_{AI}(j-1) + T_{Rj} . \quad (\text{A16A14})$$

Если в обеих точках осуществления выборки  $t_{j-1}$  и  $t_j$ , канал находился в состоянии "занято", то значение  $T_O$  должно быть увеличено на соответствующую величину:

$$T_O(j) = T_O(j-1) + T_{Rj} . \quad (\text{A17A15})$$

Если в пределах интервала  $T_{Rj}$  наблюдается изменение состояния занятости канала, то только половина интервала между повторными измерениями должна учитываться как время пребывания в состоянии "занято":

$$T_O(j) = T_O(j-1) + T_{Rj} / 2 . \quad (\text{A18A16})$$

И наконец, если наблюдения показывают, что канал находится в пассивном состоянии в обеих точках осуществления выборки, то длительность пребывания в состоянии "занято",  $T_O$ , следует оставить неизменной.

Для подтверждения–определения доверительного уровня измерений, как и для систем "lock-in", необходимо зафиксировать количество сигналов, наблюдаемых на протяжении времени интеграции при измерении занятости (см. пп. А3.1.1 и А3.1.3).

#### А3.2.2 Правило расчета занятости

Правило для расчета занятости выглядит следующим образом:

$$SOCR = T_O / T_{AI} , \quad (\text{A19A17})$$

где:

$SOCR$ : результат расчета занятости спектра;

$T_O$ : средняя продолжительность времени пребывания канала в состоянии "занято";

$T_{AI}$ : продолжительность фактического времени интеграции.

### A3.2.3 Подбор количества выборок при измерении занятости в радиоканалах с продолжительными сигналами ~~Установление количества выборок~~

Определение продолжительности времени, в течение которого в канале наблюдается состояние "занято", позволяет предотвратить накопление погрешности, которая является типичной для измерительных систем "lock-out". В результате статистические характеристики уравнения-правила (A19A17) для измерительных систем "lock-out" совпадают с качественными показателями, полученными в уравнении (A7) для систем "lock-in". Это означает, что количество выборок, необходимых для обеспечения доверительного уровня  $P_{SOC} = 95\%$ , может быть вычислено при помощи соотношений приведенных выше правил (A7A8) и (A19A12) или взято из таблицы A1 и A2.

Использование уравнения-правила (A7) для измерительных систем "lock-out" в принципе приемлемо, однако количество выборок, требуемое для обеспечения достоверности измерений, резко возрастает по мере увеличения относительной нестабильности, касающейся интервала между повторными измерениями.

### A3.3 Подбор количества выборок при измерении занятости в радиоканалах с импульсными сигналами

При измерении занятости в каналах с импульсными сигналами требуется гораздо большее количество выборок для достижения доверительного уровня  $P_{SOC}$  при допустимой абсолютной погрешности измерения,  $\Delta_{SO}$ , чем в случаях с продолжительными сигналами. Необходимое количество выборок,  $J_{Imin}$ , может быть рассчитано следующим образом:

$$J_{Imin} = SO \cdot (1 - SO) \cdot \left( \frac{x_p}{\Delta_{SO}} \right)^2 \quad (A14A18)$$

где:

$J_{Imin}$ : рекомендуемое-требуемое (минимально необходимое) количество выборок;

$SO$ : занятость радиоканала с импульсными сигналами;

$x_p$ : процентная точка интеграла вероятности (см. (A9));

$\Delta_{SO}$ : максимальная допустимая абсолютная погрешность измерений, соответствующая половине доверительного интервала.

При доверительном уровне  $P_{SOC} = 95\%$  и максимальной допустимой абсолютной погрешности измерения,  $\Delta_{SO} = 0,5\%$ , уравнение (A14A18) может быть выражено следующим образом:

$$J_{Imin} = 153664 \cdot SO \cdot (1 - SO) \quad (A15A19)$$

Для сигналов импульсного типа достоверность расчета (A7) определяется самим значением занятости и практически не зависит от нестабильности расположения выборок вдоль оси времени, а также от типа выполняемых измерений – "lock-in" или "lock-out". Использование уравнения (A15A19) для радиоканалов с различными значениями занятости показано в таблице A2.

ТАБЛИЦА А2

**Количество выборок для канала с импульсными сигналами, требуемое для обеспечения абсолютной погрешности измерения занятости,  $\Delta_{SO}$ , не превышающей  $\pm 0,5\%$ , при доверительном уровне  $P_{SOC} = 95\%$**

Занятость радиоканала, $SO$ (%)	Требуемое количество выборок, $J_I$	Максимальный допустимый интервал между повторными измерениями, $T_R$ (мс)	
		при $T_I = 5$ мс	при $T_I = 15$ мс
5	7 300	41,1	123,2
10	13 830	21,7	65,0
20	24 586	12,2	36,6
35	34 960	8,6	25,7
50	38 416	7,8	23,4

ПРИМЕЧАНИЕ. – Необходимое количество выборок для канала с занятостью  $SO^* > 50\%$  совпадает с количеством выборок при занятости  $SO = 1 - SO^*$ . Другими словами, для обеспечения статистически достоверных измерений, например, в канале с занятостью 80% необходимо выбрать значение  $J_I = 24 586$ , как и при занятости  $SO = 1 - 0,80 = 20\%$ .

Для получения ориентированных на потребности практики рекомендаций, касающихся подбора числа выборок, полезно также проанализировать отличия в зависимостях  $J_{I \min}(SO)$ , вызываемые ограничением допустимой абсолютной ( $\Delta_{SO}$ ) и относительной ( $\delta_{SO}$ ) погрешностей оценивания.

В таблице 1 Рекомендации МСЭ-R SM.1880-1 [A5]\*\* (которая, для удобства читателя, воспроизведена ниже как таблица А3) приведены результаты расчета числа независимых выборок, необходимых для обеспечения 10% относительной и 1% абсолютной погрешности измерений в зависимости от занятости радиоканала.

Как следует из этой таблицы, ограничение относительной погрешности фиксированной величиной (10%) при малых значениях занятости (менее 5%) ведет к существенному увеличению необходимого числа выборок ввиду того, что в этом случае очень малой оказывается результирующая абсолютная погрешность. В то же время, для обеспечения аналогичной точности при больших значениях занятости (более 30%) требуется весьма малое число выборок. Напротив, ограничение абсолютной погрешности фиксированной величиной (1%) ведет к увеличению необходимого числа выборок при больших значениях занятости (более 20%), поскольку в этом случае малые значения приобретает результирующая относительная погрешность. В то же время, для обеспечения такой точности при малой занятости (менее 3%) требуется небольшое число выборок.

С целью сокращения необходимого числа выборок во всем диапазоне изменений занятости напрашивается решение для больших величин занятости производить оценку, традиционно ограничивая допустимую относительную погрешность, а для малых величин занятости – ограничивая допустимую абсолютную погрешность [А6]. Если переход с одного типа ограничений на другой осуществлять на уровне занятости в 10%, то необходимое количество выборок будет определяться значениями, выделенными в таблице А3 жирными шрифтом, что вполне приемлемо с практической точки зрения.

\*\*Измененной в соответствии с предложениями, приведенными в Doc. 1C/119, Annex 1, или в Документе 1C.....(RUS-1).

Код поля изменен

ТАБЛИЦА А3

**Количество выборок, необходимое для достижения не более чем 10% относительной погрешности  $\delta_{so}$ , либо 1% абсолютной погрешности  $\Delta_{so}$  при 95% уровне достоверности**

Код поля изменен

Код поля изменен

Занятость канала, %	Требуемая относительная погрешность $\delta_{so} = 10\%$		Требуемая абсолютная погрешность $\Delta_{so} = 1\%$	
	Результирующая величина абсолютной погрешности, %	Число необходимых независимых выборок	Результирующая величина относительной погрешности, %	Число необходимых независимых выборок
<u>1</u>	<u>0,1</u>	<u>38047</u>	<u>100,0</u>	<u>380</u>
<u>2</u>	<u>0,2</u>	<u>18832</u>	<u>50,0</u>	<u>753</u>
<u>3</u>	<u>0,3</u>	<u>12426</u>	<u>33,3</u>	<u>1118</u>
<u>4</u>	<u>0,4</u>	<u>9224</u>	<u>25,0</u>	<u>1476</u>
<u>5</u>	<u>0,5</u>	<u>7302</u>	<u>20,0</u>	<u>1826</u>
<b><u>10</u></b>	<b><u>1,0</u></b>	<b><u>3 461</u></b>	<b><u>10,0</u></b>	<b><u>3 461</u></b>
<u>15</u>	<u>1,5</u>	<u>2 117</u>	<u>6,7</u>	<u>4900</u>
<u>20</u>	<u>2,0</u>	<u>1 535</u>	<u>5,0</u>	<u>6149</u>
<u>30</u>	<u>3,0</u>	<u>849</u>	<u>3,3</u>	<u>8071</u>
<u>40</u>	<u>4,0</u>	<u>573</u>	<u>2,5</u>	<u>9224</u>
<u>50</u>	<u>5,0</u>	<u>381</u>	<u>2,0</u>	<u>9608</u>
<u>60</u>	<u>6,0</u>	<u>253</u>	<u>1,7</u>	<u>9224</u>
<u>70</u>	<u>7,0</u>	<u>162</u>	<u>1,4</u>	<u>8071</u>
<u>80</u>	<u>8,0</u>	<u>96</u>	<u>1,3</u>	<u>6149</u>
<u>90</u>	<u>9,0</u>	<u>43</u>	<u>1,1</u>	<u>3459</u>

При таком подходе увеличивается относительная погрешность оценивания для малых значений занятости, но, с практической точки зрения, с этим вполне можно мириться, поскольку абсолютная погрешность оценивания при этом мала. Так, для занятости равной 2% соответствующие относительной погрешности 50% границы доверительного интервала оценивания в 1% и 3% все равно характеризуют весьма малую занятость канала, и вряд ли целесообразно тратить значительный дополнительный расчетный ресурс для подтверждения этого очевидного факта с несколько большей точностью, выражаемой только десятными долями процента.

Смысл приведенного в таблице А3 жирным шрифтом необходимого количества выборок можно пояснить следующим образом. Если нет предварительной информации о занятости анализируемого канала, то при её оценке по 1000 выборок, точность измерений для значений занятости около 27% и 3% будет примерно такой, как это указано в таблице А3, т.е. примерно 10% относительной погрешности для 27% занятости и примерно 1% абсолютной погрешности для занятости равной 3%. Большие, чем 27%, величины занятости будут измеряться с меньшей (чем 10%) относительной погрешностью, а меньшие, чем 3%, величины занятости – с меньшей (чем 1%) абсолютной погрешностью. Для радиоканалов с занятостью от 3% до 27% измерения будут характеризоваться превышающей 10% относительной погрешностью и превышающей 1% абсолютной погрешностью.

Таким образом, принятие подхода к оценке качества измерений занятости спектра при малых величинах занятости по допустимой абсолютной погрешности означает лишь то, что санкционируется

возможность повышения относительной погрешности измерений для таких малых значений занятости, исходя из того факта, что абсолютные погрешности при этом остаются малыми.

Анализируя представленные в таблице А3 зависимости необходимого числа выборок от занятости канала, легко заметить, что среди выделенных жирным шрифтом величин наибольшее значение (3461) соответствует занятости равной 10%. Это означает, что выбрав, с запасом, несколько большую округленную величину, например 3600 выборок (что соответствует взятию отсчетов 4 раза в секунду за период 15 минут), её можно использовать как единое универсальное число выборок для всего диапазона изменения занятости от 1% (и меньше) до 100%. При этом погрешность измерений будет ниже 10% относительной погрешности для каналов с занятостью, превышающей 10%, и ниже 1% абсолютной погрешности для каналов с занятостью менее 10%. Уменьшение занятости (от 10%) будет сопровождаться последовательным уменьшением абсолютной погрешности оценок, а увеличение занятости (по отношению к 10%) – последовательным уменьшением относительной погрешности. Конкретные расчетные величины результирующих погрешностей приведены в левой части таблицы А4 жирными цифрами.

**ТАБЛИЦА А4**

**Соответствующие уровню достоверности в 95% погрешности измерения занятости, достигаемые при оценке занятости ровно по 3600 и 1800 выборкам данных**

<u>Занятость, %</u>	<u>Число выборок 3600</u>		<u>Число выборок 1800</u>	
	<u>Обеспечиваемая абсолютная погрешность, %</u>	<u>Обеспечиваемая относительная погрешность, %</u>	<u>Обеспечиваемая абсолютная погрешность, %</u>	<u>Обеспечиваемая относительная погрешность, %</u>
<u>1</u>	<b><u>0,33</u></b>	<u>32,5</u>	<b><u>0,46</u></b>	<u>46,0</u>
<u>2</u>	<b><u>0,46</u></b>	<u>22,9</u>	<b><u>0,65</u></b>	<u>32,3</u>
<u>3</u>	<b><u>0,56</u></b>	<u>18,6</u>	<b><u>0,79</u></b>	<u>26,3</u>
<u>4</u>	<b><u>0,64</u></b>	<u>16,0</u>	<b><u>0,91</u></b>	<u>22,6</u>
<u>5</u>	<b><u>0,71</u></b>	<u>14,2</u>	<b><u>1,01</u></b>	<u>20,1</u>
<b><u>10</u></b>	<b><u>0,98</u></b>	<b><u>9,8</u></b>	<b><u>1,39</u></b>	<b><u>13,9</u></b>
<u>15</u>	<u>1,17</u>	<b><u>7,8</u></b>	<u>1,65</u>	<b><u>11,0</u></b>
<u>20</u>	<u>1,31</u>	<b><u>6,5</u></b>	<u>1,85</u>	<b><u>9,2</u></b>
<u>30</u>	<u>1,50</u>	<b><u>5,0</u></b>	<u>2,12</u>	<b><u>7,1</u></b>
<u>40</u>	<u>1,60</u>	<b><u>4,0</u></b>	<u>2,26</u>	<b><u>5,7</u></b>
<u>50</u>	<u>1,63</u>	<b><u>3,3</u></b>	<u>2,31</u>	<b><u>4,6</u></b>
<u>60</u>	<u>1,60</u>	<b><u>2,7</u></b>	<u>2,26</u>	<b><u>3,8</u></b>
<u>70</u>	<u>1,50</u>	<b><u>2,1</u></b>	<u>2,12</u>	<b><u>3,0</u></b>
<u>80</u>	<u>1,31</u>	<b><u>1,6</u></b>	<u>1,85</u>	<b><u>2,3</u></b>
<u>90</u>	<u>0,98</u>	<b><u>1,1</u></b>	<u>1,39</u>	<b><u>1,5</u></b>

В подавляющем большинстве случаев в качестве единого универсального числа выборок вполне возможно использовать и в два раза меньшую величину, а именно 1800 выборок, что соответствует

взятию отсчетов 2 раза в секунду за период 15 минут, позволяя использовать менее быстродействующую аппаратуру. Расчетные величины результирующих погрешностей для 1800 выборок приведены в правой части таблицы А4. При использовании 1800 выборок вместо 3600 абсолютные погрешности оценок увеличиваются в  $\sqrt{2} \approx 1,41$  раз, а превышение относительной погрешностью величины 10% для малых значений занятости начинается не с 10%, а с 14%. Тем не менее, и при 1800 выборках соответствующие величины абсолютной погрешности остаются достаточно малыми, отличаясь от случая 3600 выборок лишь на десятые доли процента, что является вполне приемлемым для практических целей. Кроме того, как следует из рисунка 1 Рекомендации МСЭ-R SM.1880-1 [А5]\*\*, результирующие величины относительных погрешностей для 1800 выборок не попадают в запретную зону, что подтверждает их пригодность.

Код поля изменен

Как уже отмечалось выше, приведенные в таблице А4 величины соответствуют измерению занятости каналов с импульсными сигналами. Для каналов с протяженными сигналами абсолютные погрешности оценок обратно пропорциональны количеству обрабатываемых выборок и, как видно из рисунка А3, могут быть существенно меньше, чем для импульсных сигналов. Если заведомо известно, что в канале имеют место именно такие сигналы, то число выборок может быть уменьшено до 600, что следует из данных таблицы А5. В ней приведены рассчитанные значения относительной и абсолютной погрешностей в зависимости от занятости канала и отношения  $\tau_s / T_I$ , где  $\tau_s$  - длительность каждого протяженного сигнала, которые в использованной модели считаются равными, а  $T_I$  - время накопления данных. Из таблицы А5 видно, что погрешности измерений существенно уменьшаются с увеличением относительной длительности протяженных сигналов.

Код поля изменен

Код поля изменен

Код поля изменен

ТАБЛИЦА А5

**Погрешность, соответствующая уровню достоверности в 95%, наблюдаемая при оценке занятости в канале с протяженными сигналами, имеющими длительность не менее указанного значения отношения  $\tau_s / T_I$  по 600 выборкам данных**

Код поля изменен

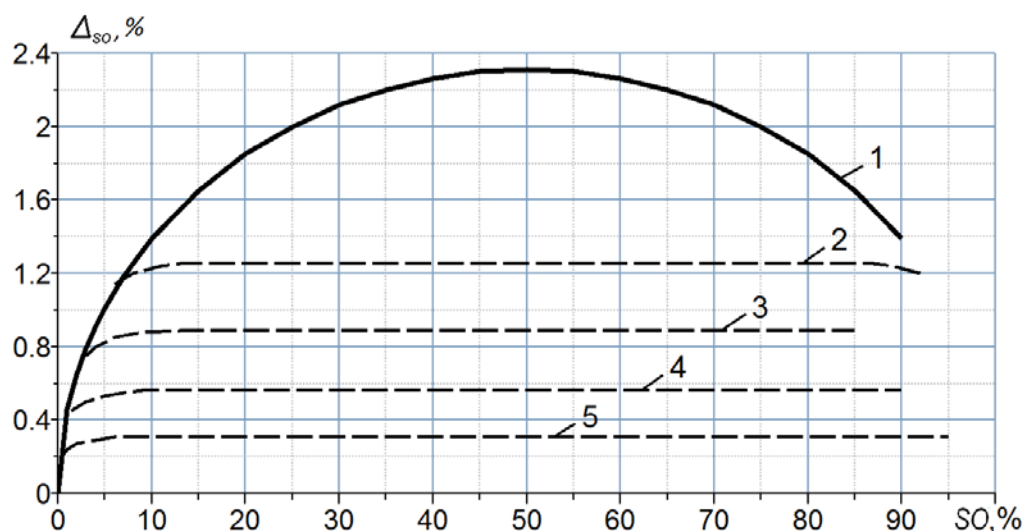
Занятость канала, %	$\tau_s / T_I = 0,0025$		$\tau_s / T_I = 0,01$	
	Обеспечиваемая абсолютная погрешность, %	Обеспечиваемая относительная погрешность, %	Обеспечиваемая абсолютная погрешность, %	Обеспечиваемая относительная погрешность, %
<u>1</u>	<u>0,34</u>	<u>33,64</u>	<u>0,17</u>	<u>16,82</u>
<u>2</u>	<u>0,48</u>	<u>23,79</u>	<u>0,24</u>	<u>11,89</u>
<u>3</u>	<u>0,58</u>	<u>19,42</u>	<u>0,29</u>	<u>9,71</u>
<u>4</u>	<u>0,67</u>	<u>16,82</u>	<u>0,34</u>	<u>8,41</u>
<u>5</u>	<u>0,75</u>	<u>15,04</u>	<u>0,38</u>	<u>7,52</u>
<u>10</u>	<u>1,06</u>	<u>10,64</u>	<u>0,53</u>	<u>5,32</u>
<u>15</u>	<u>1,30</u>	<u>8,69</u>	<u>0,65</u>	<u>4,34</u>
<u>20</u>	<u>1,50</u>	<u>7,52</u>	<u>0,75</u>	<u>3,76</u>

\*\*Измененной в соответствии с предложениями, приведенными в Doc. 1C/119, Annex 1, или в Документе 1C.....(RUS-I).

<u>30</u>	<u>1,84</u>	<u>6,14</u>	<u>0,92</u>	<u>3,07</u>
<u>40</u>	<u>2,13</u>	<u>5,32</u>	<u>1,06</u>	<u>2,66</u>
<u>50</u>	<u>2,38</u>	<u>4,76</u>	<u>1,19</u>	<u>2,38</u>
<u>60</u>	<u>2,61</u>	<u>4,34</u>	<u>1,30</u>	<u>2,17</u>
<u>70</u>	<u>2,81</u>	<u>4,02</u>	<u>1,41</u>	<u>2,01</u>
<u>80</u>	<u>3,01</u>	<u>3,76</u>	<u>1,50</u>	<u>1,88</u>
<u>90</u>	<u>3,19</u>	<u>3,55</u>	<u>1,60</u>	<u>1,77</u>

РИСУНОК А3

Абсолютная погрешность  $\Delta_{SO}$  оценивания занятости радиочастотного спектра с достоверностью 95% на основе 1800 выборок при импульсных сигналах в канале (1), либо при 500 (2), 250 (3), 100 (4) или 30 (5) протяженных сигналах в канале за время накопления данных



Код поля изменен

Отформатировано: Шрифт: курсив

#### А3.4 Влияние уменьшенного количества выборок на доверительный уровень и погрешность измерения занятости

Уменьшение количества выборок,  $J_i$ , в  $K$  раз, по сравнению с представленным в таблицах А1-А3, приводит к снижению надежности (доверительного уровня) или к увеличению доверительного интервала пропорционально коэффициенту  $K$ .

Предположим, к примеру, что нам необходимо измерить занятость радиоканала при скорости потока сигналов, не превышающей 50 сигналов за временной период интеграции. Из последнего столбца таблицы А1 видно, что в данном случае требуемое число выборок состояний каналов составляет 1572. Согласно этому расчетное значение занятости ( $A7$ ) отклонится от истинного значения не более чем на  $\Delta_{SO} = 0,5\%$  при доверительном уровне  $P_{SOC} = 95\%$ . С другой стороны, если теперь предположить, что система фактически способна осуществлять всего 393 выборки состояний канала за время интеграции, то есть в четыре раза меньше требуемого количества, то среднее значение занятости будет, как и ранее, измерено с достаточной точностью, однако диапазон, внутри которого истинное значение

занятости определяется с доверительным уровнем 95%, увеличивается в четыре раза до  $\pm 2\%$  с обеих сторон результата измерения.

Уменьшенное количество выборок,  $J_I$ , может также наблюдаться в том случае, если сбор данных для расчета занятости преждевременно прекращается. В таких случаях расчет занятости по формуле (A7) по-прежнему дает объективные результаты, но доверительный уровень результатов уменьшается, как и в примере, приведенном выше.

#### **A4 Типичные примеры влияния скорости потока сигналов в радиоканале на доверительный уровень расчетов занятости спектра**

Следующие примеры подтверждают важность отслеживания скорости потока сигналов в радиоканалах, если задачей является получение результатов измерения занятости с высокой степенью точности и статистической достоверности. Подвергаются анализу расчеты занятости радиоканалов с существенно различающимся количеством сигналов (сеансов связи) на протяжении времени интеграции. Во всех сравниваемых случаях истинное значение занятости одно и то же, а именно  $SO = 5\%$ . Требования, предъявляемые к точности, включают величину абсолютной допустимой погрешности измерения  $\Delta_{SO} = 0,5\%$ , которая при  $SO = 5\%$  соответствует относительной погрешности  $\delta_{SO} = 10\%$ .

##### **A4.1 Пример А. Единственный сигнал в течение времени интеграции**

Предположим, что в течение времени интеграции при измерении занятости,  $T_I$ , в канале может наблюдаться только один сигнал продолжительностью  $T_s = 0,05 \cdot T_I$ , что соответствует занятости  $SO = 5\%$ . Нам будет устраивать ситуация, когда для обеспечения доверительного уровня  $P_{SOC} = 100\%$ , при равномерном расположении выборок состояний канала на оси времени, достаточно будет осуществить  $J_I \geq 200$  выборок.

На самом деле для интервала между повторными измерениями,  $T_R$ , определяемого с помощью уравнения (A5), в течение периода активности сигнала количество выборок будет составлять либо

$$J_{o \min} = \text{int}[T_s \cdot J_I / T_I] = \text{int}[0,05 \cdot J_I], \quad (\text{A20})$$

где  $\text{int}[\cdot]$  – это операция возврата целой части аргумента, либо  $(J_{o \min} + 1)$  выборок. С учетом правила (A7) получаем погрешность измерения занятости:

$$(|SOCR - SO|)_r \leq \max(|SOCR - SO|) \leq \max\left(0,05 - \frac{J_{o \min}}{J_I}; \frac{J_{o \min} + 1}{J_I} - 0,05\right). \quad (\text{A21})$$

Для  $J_I \geq 200$  максимальная абсолютная погрешность, которую можно фактически обеспечить в соответствии с (A21), составляет  $\max(|SOCR - SO|) = 0,005$ , что соответствует относительной погрешности 10%. Заметим также, что при  $J_I \geq 600$  из уравнения (A21) мы получаем  $\max(|SOCR - SO|) = 0,00167$ , что (при  $SO = 5\%$ ) соответствует относительной погрешности, меньшей, чем 3,5% (при доверительном уровне 100%).

##### **A4.2 Пример В. Двенадцать сигналов в течение времени интеграции**

А теперь предположим, что в течение времени интеграции наблюдаются 12 импульсов равной длины  $T_s = 0,00417 \cdot T_I$ , что опять же соответствует занятости  $SO = 5\%$ . При количестве выборок в пределах диапазона  $485 \leq J_I < 715$  длина импульса превышает интервал между повторными измерениями,  $T_R$ , и поэтому каждый импульс в зависимости от его положения по отношению к "координатной сетке" выборок будет представлен либо двумя  $J_{o \min} = T_s / T_R \max = \text{int}[0,00417 \cdot J_I \min] = 2$ , либо тремя  $J_{o \max} = \text{int}[0,00417 \cdot J_I \max] + 1 = 3$  состояниями "занято". При  $J_I \approx 500$  это будут пары точек, соответствующих занятым состояниям канала, которые будут появляться чаще, тогда как при  $J_I \approx 700$  точки, соответствующие занятым состояниям, чаще будут сгруппированы по три.

Рассмотрим более подробно случай  $J_I = 600$ , при котором оба сценария группировки выборок будут равномерны. Общее количество зарегистрированных проявлений активности  $J_O$  в данной ситуации



может лежать в диапазоне от  $J_{O \min} = 12 \cdot 2 = 24$  до  $J_{O \max} = 12 \cdot 3 = 36$ . В те моменты проведения измерения, когда значение  $J_O$  попадает в диапазон от 27 до 33, занятость, полученная из уравнения (A7), уменьшится в пределах  $\pm 10\%$  относительной погрешности. Вероятность  $24 \leq J_O \leq 26$  или  $34 \leq J_O \leq 26$  может быть вычислена при помощи правила:

$$P_{error} = 0,5^{12} \cdot (C_{12}^0 + C_{12}^1 + C_{12}^2 + C_{12}^{10} + C_{12}^{11} + C_{12}^{12}) = \frac{2 \cdot (1 + 12 + 66)}{4096} \approx 3,86\% . \quad (A22)$$

Здесь  $C_{12}^k$  соответствует  $k$  случаям определения пар занятых состояний при наблюдении следующих 12 импульсов.

Таким образом, при той же занятости  $SO = 5\%$ , что и в примере А, и при том же количестве выборок  $J_I = 600$ , несмотря на то что результат расчета занятости,  $SOCR$ , удовлетворяет требованиям, приведенным в [А.4, А.5], существует почти 4%-ная вероятность, что этот результат может отклоняться от истинного значения  $SO$  с относительной погрешностью, превышающей 10%.

#### А4.3 Пример С. Несколько десятков сигналов в течение времени интеграции

И наконец, предположим, что в течение времени интеграции  $T_I$  наблюдаются 80 импульсов равной длины  $T_s = 6,25 \cdot 10^{-4} \cdot T_I$ , что снова дает величину  $SO = 5\%$ . При  $J_I = 600$  интервал между повторными измерениями составит  $T_R \approx 1,67 \cdot 10^{-3} \cdot T_I$ . При этом любые из импульсов будут представлены как импульсы, создающие не более чем одно состояние "занято" и с вероятностью  $P_{miss} = 1 - T_s/T_R \approx 62,5\%$  просто будут пропущены! Означает ли это, что теперь невозможно выполнить расчет занятости?

Пренебрегая вероятностью наложения импульсов и трактуя случаи "обнаружения" импульсов как независимые, в качестве ожидаемого значения количества занятых состояний,  $J_O$ , можно получить

$$m_1 \{J_o\} = 80 \cdot (1 - P_{miss}) = 80 \cdot 0,375 = 30 . \quad (A23)$$

И следовательно,

$$m_1 \{SOCR\} = 30/600 = 0,05 . \quad (A24)$$

Таким образом, среднее значение занятости по-прежнему является объективным. Это можно объяснить тем фактом, что хотя некоторые импульсы и могут быть фактически пропущены, остальные будут по сути приниматься в расчет не как обладающие длительностью  $T_s$ , а как длящиеся в течение периода  $T_R$ , что компенсирует предыдущее воздействие.

Для проведения анализа качества расчета занятости в новых условиях предположим, что результаты, соответствующие относительной погрешности в пределах  $\pm 10\%$ , будут получены только для того количества обнаруженных сигналов, которое находится в диапазоне от 27 до 33. Реальное количество обнаруженных сигналов будет являться случайной величиной, подчиненной биномиальному распределению.

Учитывая однако, что при достаточно большом общем количестве обнаруженных импульсов,  $n = 80$ , данное распределение может быть приближено к нормальному, получаем следующее выражение для доверительного уровня при проведении измерений:

$$P_{SOC} = F_{st} \left( \frac{33 - 30}{4,33} \right) - F_{st} \left( \frac{27 - 30}{4,33} \right) \approx F_{st} (0,7) - F_{st} (-0,7) \approx 52\% , \quad (A25)$$

где  $F_{st} (z)$  – функция распределения вероятности стандартного нормального случайного значения:

$$F_{st} (z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z \exp \left( -\frac{t^2}{2} \right) dt , \quad (A26)$$

а  $\sigma = \sqrt{n \cdot (1 - P_{miss}) \cdot P_{miss}} = \sqrt{80 \cdot 0,375 \cdot 0,625} \approx 4,33$  – это стандартное отклонение измеренного значения  $SOCR$ .

Таким образом, при большом количестве коротких импульсов в течение времени интеграции полученные значения занятости в среднем будут близки к истинным значениям, но доверительный уровень при проведении измерений будет низким (в данном случае  $P_{SOC} = 52\%$ ).

В приведенных выше примерах показано, что для радиоканалов, содержащих продолжительные сигналы, доверительный уровень при измерениях занятости зависит в первую очередь не от значения занятости как такового, а от количества изменений состояния, происходящих в исследуемом канале в течение времени интеграции. При нечастых изменениях состояния в радиоканале даже небольшое количество выборок способно обеспечить относительно точное и достоверное измерение занятости. При частом изменении состояния в радиоканале точное и достоверное измерение занятости может быть обеспечено только путем значительного увеличения количества выборок в течение времени интеграции.

### Справочная литература к Приложению А

- [A.1] Measurement procedure qualification certificate No. 206/000265/2011 on “Measurement of radio-electronic equipment emission properties with [ARGAMAK-I](#), [ARGAMAK-IM](#) and [ARGAMAK-IS](#) Digital Measuring Radio Receivers”, including those with [ARC-KNV4](#) Remote Controlled Frequency Down-Converter. <http://www.ircos.ru/en/news.html>.
- [A.2] SPAULDING, A.D., HAGN, G.H. [August 1977] – On the definition and estimation of spectrum occupancy. IEEE Trans. In EMC, Vol. EMC-19, No. 3, p. 269-280.
- [A.3] KOZMIN, V.A., TOKAREV, A.B. – A method of estimating the occupancy of the frequency spectrum of an automated radio-control server in the following paginated issue of Measurement Techniques: Volume 52, Issue 12 (2009), Page 1336. <http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s11018-010-9442-9>.
- [A.4] Справочник по контролю за использованием спектра, МСЭ, 2011.
- ~~[A.5] — Рекомендация МСЭ R SM.1880 — Измерение занятости спектра.~~
- ~~[A.5] — Рекомендация МСЭ-R SM.1880-1 — Измерение и оценка занятости спектра\*\*.~~
- [A6] KOZMIN, V.A. PAVLYUK, A.P., TOKAREV, A.B. – Optimization of requirements to the accuracy of radio-frequency spectrum occupancy evaluation. // *Electrosvyaz*. 2014 – No. 6 (in Russian). (The article translated into English is available at the web-site: <http://www.ircos.ru/en/articles.html>).

---

\*\* [Измененная в соответствии с предложениями, приведенными в Дос. 1С/119, Annex 1, или в Документе 1С.....\(RUS-I\).](#)