

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Б.П. Хромой, профессор кафедры «Метрология, стандартизация и измерения в инфокоммуникациях» МТУСИ, P_khromoy@rambler.ru

УДК 621.396

Аннотация. Достижение требуемого качества приемо-передающих средств связи возможно при наличии метрологического обеспечения производства, испытаний и контроля качества. Достоверность результатов испытаний и контроля качества во многом определяется правильным выбором средств и методов испытаний, качеством методик выполнения измерений. Для проведения испытаний необходимы измерительные комплексы, способные проверять выполнение общих и конкретных требований к продукции. В состав комплексов входят средства измерений и технического оснащения. В статье рассмотрены вопросы оптимального выбора измерительных комплексов.

Ключевые слова: контроль качества; метод измерения; метрологическое обеспечение; анализатор спектра; уровень сигнала; нестабильность частоты; векторный генератор.

COMPLEX FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF RECEIVING- COMMUNICATION FACILITIES

Boris Khromoy, professor of the "Metrology, standardization and measurements in infocommunications" department MTUCI

Annotation. Achieving the required quality of receiving and transmitting means of communication is possible with metrological support for production, testing and quality control. Reliability of test results and quality control is largely determined by the correct choice of means and test methods, the quality of measurement techniques. Measuring complexes that can verify the performance of general and specific requirements for products are required. The complexes include measuring and technical equipment. In the article the questions of an optimum choice of measuring complexes are considered.

Keywords: quality control; Method of measurement; metrological support; spectrum analyzer; signal strength; frequency instability; vector generator.

Основу нормативной базы метрологического обеспечения оценки качества определяет Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 28 июня 2008 г. № 102-ФЗ [1-2], ГОСТ Р 8.000-2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения» [3] и ГОСТ Р 8.563-96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений» [4].

Методики выполнения измерений, применяемые при оценке качества продукции, являются конечным звеном нормативных документов по вопросам обеспечения единства измерений [5-9].

. Они объединяют основные составляющие системы обеспечения единства измерений: единицы величин, эталоны, стандартные образцы, метрологические характеристики методик выполнения измерений и средств измерений и др. Поэтому разработка, аттестация и внедрение современных методик выполнения измерений существенно влияют на достоверность и объективность результатов контроля качества продукции.

Проведение метрологической экспертизы является неотъемлемой частью современного производственного процесса [10]. В настоящее время большинство производственных

организаций имеют отдел метрологии и стандартизации, отдел качества, а также лабораторию надежности [11].

В отделе метрологии выявляются ошибочные или недостаточно обоснованные решения, разрабатываются наиболее рациональные решения по конкретным вопросам метрологического обеспечения [12-13].

Отдел качества занимается контролем предъявляемых требований к новым или серийным выпускам изделий, средств связи, проверяет правильность составления технических заданий, технических условий, программ и методик испытаний продукции.

В лаборатории надежности проводят испытания и измерения готовой продукции или комплектующих изделий. Проверяют работоспособность как в нормальных климатических условиях, так и при воздействии вредных физических и климатических факторов.

Правильное взаимодействие этих отделов позволяет выпускать готовую продукцию, соответствующую современным стандартам качества.

Для проведения испытаний в лабораториях надежности отдел метрологии и стандартизации проектирует измерительные комплексы, способные проверять выполнение общих и конкретных требований к продукции. В состав комплексов входят средства измерений и технического оснащения. За счет опыта ранее проведенных исследований эти комплексы модернизируются и дополняются новыми измерительными приборами [11].

Для создания этих комплексов проводятся исследования и анализ возможности использования измерительных приборов в составе комплексов. Производится расчет погрешности измерений. Выявляются возможные максимальные допуски отклонений измеряемых параметров. Для этого требуется изучение технической документации на измерительные приборы, изучение разрабатываемых технических заданий и условий, а также ГОСТов.

При разработке, производстве и эксплуатации приемопередающей аппаратуры измерения большинства параметров осуществляются в сравнительно узком диапазоне, т.к. эти параметры относятся к определенному типу абонентских радиостанций. На предприятиях, осуществляющих испытания и сертификацию оборудования измерительный комплекс должен быть рассчитан на более широкий диапазон параметров, так как возможны испытания образцов средств связи различных типов.

Типы средств связи классифицируются по ряду признаков. По способу применения абонентские станции могут быть следующих типов: возимые, носимые, портативные, стационарные. Деление по классам в зависимости от мощности передатчика представлено в табл. 1.

Многодиапазонная абонентская радиостанция может иметь любую комбинацию классов мощности из диапазонов, приведенных в табл. 1.

Доступ к сети подвижной связи определяется диапазоном используемых частот и методом кодирования речи.

Таблица 1.

| Класс мощности | Номинальная максимальная выходная мощность | |
|----------------|--|------------------|
| | GSM 900 | GSM1800 |
| 1 | - | 1 Вт (30 дБм) |
| 2 | 8 Вт (39 дБм) | 0,25 Вт (24 дБм) |
| 3 | 5 Вт (37 дБм) | 4 Вт (36 дБм) |
| 4 | 2 Вт (33 дБм) | - |
| 5 | 0,8 Вт (29 дБм) | - |

По рабочему диапазону частот можно выполнить следующую классификацию:

- радиостанции, работающие в стандартном диапазоне GSM (P-GSM);

- радиостанции, работающие в расширенном диапазоне GSM (E-GSM);
- радиостанции, работающие в диапазоне частот GSM 1800 (GSM 1800);
- многодиапазонные радиостанции, работающие в двух и более из вышеперечисленных диапазонов GSM и поддерживающие процедуру передачи управления при переходе из одного диапазона в другой;
- комбинированные радиостанции, работающие как в системах стандарта GSM, так и в системах других стандартов радиосвязи.

Классификация приемников и передатчиков по частотным диапазонам представлена в табл. 2.

Таблица 2.

| Стандарты | Приемник | Передатчик |
|-----------|---------------|---------------|
| P-GSM 900 | 935-960 МГц | 890-915 МГц |
| E-GSM 900 | 925-960 МГц | 880-915 МГц |
| GSM1800 | 1805-1880 МГц | 1710-1785 МГц |

Возможны следующие типы абонентских радиостанций (АР) в зависимости от используемого речевого кодека:

- радиостанции с полноскоростным кодированием FR (full rate, версия 1);
- радиостанции с полноскоростным кодированием FR (full rate, версия 1) плюс любая комбинация улучшенного полноскоростного кодирования EFR (full rate, версия 2), полускоростного кодирования HR (half-rate, версия 1) или адаптивного многоскоростного кодирования (AMR)

Частотные планы АР представлены в табл. 3.

Таблица 3.

| Стандарт | Режим работы АР | Номер канала | Центральная частота, МГц |
|-----------|-----------------|---|---|
| P-GSM 900 | Передача | $1 \leq n \leq 124$ | $F_u(n) = 890 + 0,2 * n$ |
| | Прием | $1 \leq n \leq 124$ | $F_l(n) = 935 + 0,2 * n$ |
| E-GSM 900 | Передача | $0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$ | $F_u(n) = 890 + 0,2 * n$ $F_u(n) = 890 + 0,2 * (n - 1024)$ |
| | Прием | $0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$ | $F_l(n) = 935 + 0,2 * n$ $F_l(n) = 935 + 0,2 * (n - 1024)$ |
| GSM 1800 | Передача | $512 \leq n \leq 885$ | $F_u(n) = 1710,2 + 0,2 * (n - 512)$ |
| | Прием | $512 \leq n \leq 885$ | $F_l(n) = 1805,2 + 0,2 * (n - 512)$ |

Абонентские станции имеют нормированные значения основных технических параметров. Для приемопередатчика АР нормированы побочные излучения на антенном разъеме. Уровень побочных излучений на антенном выходе АР в активном режиме на частотах, отличных от несущей и вне боковых полос, обусловленных процессом модуляции, не должен превышать указанных в табл. 4.

Таблица 4.

| Диапазон частот | Уровень излучений, ДБм | |
|--------------------|------------------------|---------|
| | GSM.900 | GSM1800 |
| 100кГц-1 ГГц | -36 | -36 |
| 1 ГГц-12,75 ГГц | -30 | - |
| 1 ГГц-1710 МГц | - | -30 |
| 1710 МГц-1785 МГц | - | -36 |
| 1785 МГц-12,75 ГГц | - | -30 |

Уровень побочных излучений на антенном выходе АР в дежурном режиме не должен превышать значений, указанных в табл. 5.

Таблица 5.

| Диапазон частот | Уровень излучений, дБм |
|--------------------|------------------------|
| 100 кГц-880 МГц | -57 |
| 880 МГц-915 МГц | -59 |
| 915 МГц-1000 МГц | -57 |
| 1 ГГц-1710 МГц | -47 |
| 1710 МГц-1785 МГц | -53 |
| 1785 МГц-12,75 ГГц | -47 |

Уровень излучений через корпус АР в активном режиме на частотах, отличных от несущей и вне боковых полос, обусловленных процессом модуляции, не должен превышать значений, указанных в табл. 6.

Таблица 6.

| Диапазон частот | Уровень излучений, дБм | |
|-------------------|------------------------|---------|
| | GSM 900 | GSM1800 |
| 30 МГц -1 ГГц | -36 | -36 |
| 1 ГГц - 4 ГГц | -30 | |
| 1 ГГц-1710 МГц | | -30 |
| 1710 МГц-1785 МГц | | -36 |
| 1785 МГц-4 ГГц | | -30 |

Уровень излучений через корпус АР в дежурном режиме не должен превышать значений, указанных в табл. 7.

Таблица 7.

| Диапазон частот | Уровень излучений, дБм |
|--------------------|------------------------|
| 30 МГц - 880 МГц | -57 |
| 880 МГц - 915 МГц | -59 |
| 915 МГц -1000 МГц | -57 |
| 1 ГГц-1710 МГц | -47 |
| 1710 МГц -1785 МГц | -53 |
| 1785 МГц - 4 ГГц | -47 |

К числу основных параметров передатчиков относится ошибка по частоте и по фазе в статическом канале. Ошибка по частоте представляет собой разность между частотой передаваемого АР сигнала и частотой сигнала синхронизации, передаваемого БС, или между частотой передаваемого АР сигнала и номинальной частотой используемого частотного канала (ARFCN).

Ошибка по фазе представляет собой разность между фазой передаваемого АР сигнала и теоретическим значением фазы, соответствующим используемому типу модуляции.

Ошибка по частоте несущей АР относительно частоты сигнала, полученного от БС, или относительного номинального значения частоты ARFCN должна быть не более $0,1 \cdot 10^{-6}$.

Среднеквадратическая ошибка по фазе (разность между траекторией фазовой ошибки и ее линейной регрессией на интервале полезной части слота) для каждого пакета не должна превышать 5 град.

Максимальная пиковая ошибка по фазе на интервале полезной части каждого пакета должна быть не более 20 град.

Следующим нормируемым параметром передатчика является его выходная мощность и синхронизация передаваемого пакета.

Выходной мощностью передатчика принимается среднее значение мощности, подводимой к эквиваленту антенны, или излучаемая AP со встроенной антенной во время передачи полезной части пакета.

Синхронизация передаваемого пакета характеризуется огибающей выходной мощностью во времени. Эталонной точкой, используемой при синхронизации, является точка момента перехода от 13 к 14 биту средней части пакета до разностного декодирования.

Максимальная выходная мощность передатчика AP в соответствии с ее классом мощности, декларированном фирмой-изготовителем, должна находиться в пределах ± 2 дБ при нормальных условиях и $\pm 2,5$ дБ при экстремальных условиях относительно установленного значения.

Одним из главных нормируемых параметров приемника является его чувствительность. Чувствительность приемника оценивается по величине ошибки принимаемого сигнала. При уровнях принимаемых полезных сигналов, указанных в табл. 8, вероятность ошибки не должна превышать предельные значения, указанные в этой таблице.

Таблица 8.

| Стандарт | | GSM 900 | GSM 1900 |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|
| Уровень принимаемого полезного сигнала | | -102 дБм | -102 дБм |
| Вероятность ошибки в статистических условиях распространения сигнала | TCH/FS(FER) | 0,122* $\alpha\%$ | 0,122* $\alpha\%$ |
| | Class 1b (RBER) | 0,41/ $\alpha\%$ | 0,41/ $\alpha\%$ |
| | Class 1l (RBER) | 2,439% | 2,439% |

На основе приведенных типов и требований к абонентским радиостанциям можно выявить основные измеряемые параметры этих радиостанций:

- частота приема-передачи;
- мощность AP;
- чувствительность.

К вторичным параметрам AP можно отнести:

- побочные излучения на антенном выходе AP в активном режиме;
- побочные излучения на антенном выходе AP в дежурном режиме;
- излучения через корпус AP в активном режиме;
- излучения через корпус AP в дежурном режиме.

На основе приведенных выше параметров можно составить комплекс измерительных приборов для систем связи. В его состав входят: генератор сигналов, измеритель мощности, анализатор спектра.

Можно сформулировать основные требования к параметрам приборов.

Генератор сигналов должен имитировать стандартный GSM сигнал базовых и переносных станций, переносящий поданную на модулятор известную псевдослучайную последовательность, и так же внутренний опорный генератор с частотой 10 МГц. Частотный диапазон в стандарте GSM 900 для базовых станций 880-915 МГц и GSM 1800: 1710-1785 МГц. Частотный диапазон в стандарте GSM 900 для переносных, подвижных и портативных станций 925-960 МГц и для GSM 1800: 1805-1880 МГц.

Диапазон уровней мощности для имитации сигналов базовых станций от -120 дБм до -

40 дБм (симплексный режим) и от -120 дБм до -47дБм (дуплексный режим). Погрешность установки уровня мощности $\pm 1,5$ дБ (GSM 900) и $\pm 1,0$ дБ (GSM 1800). Диапазон уровней мощности для имитации сигналов переносных станций от -130 дБм до 12 дБм.

На генератор сигналов так же возлагается измерение коэффициента ошибок (BER) в диапазоне от 0 до 99% с разрешающей способностью не менее 0,001%.

Измеритель мощности должен обеспечивать измерение среднего уровня мощности, измерение среднеквадратичного значения синусоидальных и несинусоидальных сигналов, отображение абсолютного уровня мощности в линейной (Вт) и логарифмической (дБм) шкалах, отображение относительного уровня мощности в дБ. В приборе должна быть предусмотрена автоматическая калибровка.

Частотный диапазон работы должен охватывать весь диапазон используемых частот стандартов GSM 900 и GSM 1800.

Диапазон измерения уровней мощности входного сигнала должен составлять от 0,01 мВт до 50 Вт (при непрерывном режиме) и 125-150 Вт (в пиковом режиме). Погрешность измерения уровня мощности должна быть не более ± 1 дБ.

Анализатор спектра должен обеспечивать измерения в диапазоне всех используемых частот стандартов GSM 900 и GSM 1800 с шагом установки частоты 1 кГц. Погрешность измерения частоты не должна быть более $\pm 2\%$ от полосы обзора. Отображаемый диапазон уровня должен быть не менее 70 дБ. Погрешность логарифмической шкалы ± 1 дБ во всем видимом диапазоне. Диапазон измеряемых уровней сигнала должен быть от -125дБм до -50 дБм. Допустимая погрешность измерения ошибки частоты должна быть не более ± 10 Гц. На основе анализа измеряемых величин и допустимых погрешностей измерения можно осуществить выбор измерительных приборов. Для решения поставленных задач в качестве генератора можно рекомендовать векторный генератор сигнала Rohde&Schwarz SMW-200A (рис. 1). Технические и метрологические характеристики представлены в табл. 9.

Таблица 9.

| Параметр | Требование к параметру | Параметр измерительного прибора |
|------------------------------------|--|---|
| Диапазон рабочих частот | GSM 900: 800-1000 МГц GSM 1800: 1700-1900 МГц | 100 кГц-3 ГГц |
| Диапазон установки уровня мощности | От -130 дБм до 12 дБм | От -145 дБм до +30 дБм |
| Тип модуляции | GMSK | GSM, GMSK |
| Измерение коэффициента ошибок | BER I и II класс | соответствует |
| Опорный генератор | Нестабильность ± 10 Гц Старение $\pm 2 \times 10^{-7}$ /год | $< \pm 10$ Гц $\pm 1 \times 10^{-9}$ |
| Паразитное излучение | Не более -52 дБс | -150 дБс |

На рис. 1 показан векторный генератор сигнала SMW-200A.



Рисунок 1.

Рекомендуемый к использованию и наиболее подходящий анализатор спектра и сигналов – Rohde&Schwarz FSW (рис. 2). Параметры данного прибора представлены в табл. 10. На рис. 2 представлен анализатор спектра FSW.

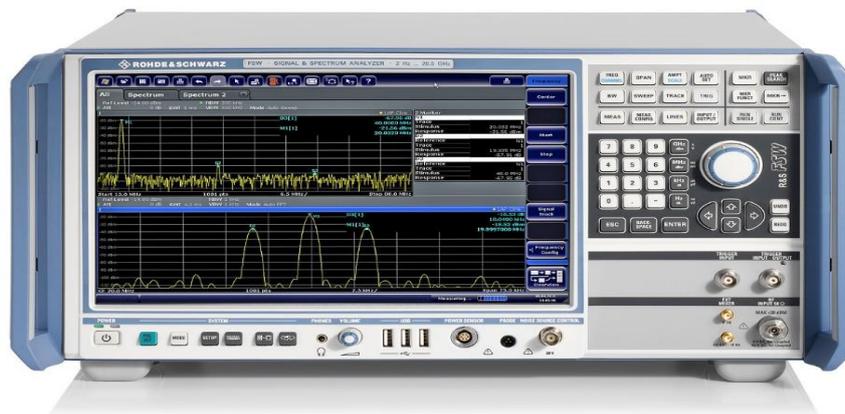


Рисунок 2.

Таблица 10.

| Параметр | Требование | Параметр измерительного прибора |
|---|---|--|
| Диапазон измеряемых частот, Шаг установки | GSM 900: 800-1000 МГц GSM 1800: 1700-1900 МГц 1 кГц | От 2 Гц до 8 ГГц шаг 0,01 Гц |
| Нестабильность частоты опорного генератора и старение | ± 10 Гц (от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+45^{\circ}\text{C}$) Старение $\pm 2 \times 10^{-7}$ /год | ± 10 Гц (последняя поверка \times старение + температурный уход ($\pm 1 \times 10^{-7}$ /год) + точность калибровки) $\pm 1 \times 10^{-7}$ /год |
| Отображаемый диапазон уровня сигнала | не менее 70 дБ | От 1 до 200 дБ |
| Полоса пропускания | 30 кГц-3 МГц | 1 Гц-10 МГц |
| Уровень собственных шумов | Не более -127 дБм | - 156 дБм |

Рекомендуемый к использованию измеритель мощности – Rohde&Schwarz NRT-Z44 (рис. 3). Параметры и требования измерителя мощности NRT-Z44 представлены в табл. 11.

На рис. 3 показан измеритель мощности NRT-Z44.

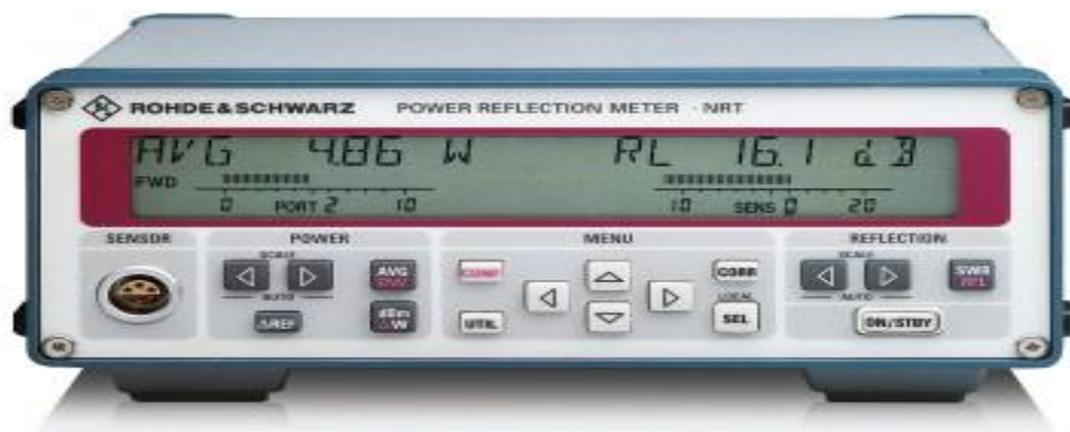


Рисунок 3.

Таблица 11.

| Параметр | Требование | Параметр измерительного прибора |
|--|--|---|
| Возможности измерителя | По мощности передатчика | Соответствует |
| Диапазон измерения мощности | от 0,01 мВт до 50 Вт в пиковом режиме 150 Вт не более 1 мин. | от 0,003 нВт до 120 Вт пиковое значение 300 Вт, не более 10 мкс |
| Измерение мощности излучаемого пакета во времени | По мощности | Соответствует |

Приведенные характеристики свидетельствуют о возможности решения задачи технических испытаний системы сотовой радиотелефонной связи стандарта GSM при вводе в эксплуатацию.

Литература

1. ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 28 июня 2008 г. № 102-ФЗ.
2. Федеральный закон № 303-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи принятием Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» (от 7 ноября 2011 г.).
3. ГОСТ Р 8.563–96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений».
4. ГОСТ Р 8.000–2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения».
5. РД 45.187-2001 «Абонентские радиостанции систем сотовой подвижной связи стандарта GSM 900/1800».
6. РД 45.301-2002 «Средства измерений электросвязи сетей подвижной связи стандарта GSM 900/1800».
7. РД 45.151-2000 «Программа и методика. Технические испытания системы сотовой радиотелефонной связи стандарта GSM при приемке и вводе в эксплуатацию законченного строительством объекта связи».
8. Федеральный закон №126-ФЗ «О связи» (от 7 июня 2003 г.).
9. Аджемов А.С., Хромой Б.П., Лохвицкий М.С. Обеспечение единства измерений времени соединения и объёма информации в системах мобильной связи // Экономика и качество систем связи, – 2016. – № 1. – С. 18-23.

10. Хромой Б.П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах (том 2). – М.: ИРИАС, 2008. – 560 с.
11. Аджемов А.С., Хромой Б.П., Лохвицкий М.С. Метрологическое обеспечение перспективных мобильных сетей // в сборнике: «Мобильный бизнес: Перспективы развития и проблемы реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». Сборник материалов XXXV Международной конференции РАЕН. 2014. – С. 26-36.
12. Аджемов А.С., Хромой Б.П. Метрологическое обеспечение оценки качества услуг мобильной связи // в сборнике: «Мобильный бизнес: Перспективы развития и проблемы реализации систем радиосвязи в России и за рубежом». Сборник материалов XXXIV Международной конференции РАЕН. 2013. – С. 22-33.