

УДК 621.317.1

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОСИСТЕМ

Муравьев О.А.¹, Хоминич А.Л.²

¹Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации,
г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: olegmur@yandex.ru

Приведены результаты разработки и использования нестандартизованной методики выполнения измерений параметров приемопередающих модулей широкополосных радиосистем на соответствие требованиям технического регламента Таможенного союза.

Ключевые слова: широкополосные радиосистемы, средства связи, технический регламент Таможенного союза, неопределенность измерений.

Введение

Введение технического регламента Таможенного союза «Электромагнитная совместимость технических средств» (ТР ТС 020/2011) [1] создает предпосылки для модернизации существующих испытательных центров, а также созданию новых подходов к проведению испытаний в целях подтверждения соответствия.

Технический регламент содержит обязательные для соблюдения требования к электромагнитной совместимости электротехнических и радиоэлектронных изделий с целью обеспечения их безопасного функционирования при совместном применении. Стандарты, содержащие требования и методы проведения испытаний, в рамках существовавшей ранее Национальной системы подтверждения соответствия были гармонизированы с международными техническими нормативными правовыми актами (ТНПА). Как следствие, разработка нестандартных методов проведения испытаний осуществлялась в случаях отклонения условий проведения испытаний от стандартных и необходимости получения сопоставимых результатов измерений. С введением технических регламентов часть стандартов, гармонизированных с международными, была заменена национальными стандартами стран членов Таможенного союза либо существующими меж-

государственными ТНПА. В части оборудования широкополосного беспроводного доступа в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 020/2011, были включены государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52459.17-2009 [2] и государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1788-2009 [3]. Последний также действует на национальном уровне в рамках решений Государственной комиссии по радиочастотам. В нем установлены требования к электромагнитной совместимости и технические требования к радиооборудованию широкополосного беспроводного доступа, однако, также, как и в [2], не прописана явно методика выполнения измерений (МВИ), что говорит о необходимости проведения работ по данному направлению и разработке собственной МВИ испытательными лабораториями.

В настоящей статье представлены разработанные методы измерений ключевых параметров электромагнитной совместимости приемопередающего оборудования систем широкополосного беспроводного доступа – полосы занимаемых радиосигналом частот, эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) и ее спектральной плотности, позволяющие проводить оценку соответствия устройств, попадающих под область действия стандарта [3]. Также

приведен расчет неопределенности измерений и пример использования МВИ. Описанные в статье методы и подходы могут быть применены при испытаниях оборудования беспроводного широкополосного доступа в рамках требований ТР ТС 020/2011 в особенности при невозможности управления программным обеспечением низкого уровня, используемого в испытуемом устройстве.

1. Методология измерений

Любая методика выполнения измерений требует установки ее назначения и определения основополагающих документов, на основе которых будут построены ее разделы. Для разрабатываемой МВИ основополагающим документом, определяющим технические требования и параметры, является СТБ 1788-2009. Разработка методов измерений, им не определяемых, выполняется с учетом международных ТНПА на соответствующее оборудование – в первую очередь, стандартов IEEE Std 802.11:2007 [4] и ETSI EN 300 328 V1.8.1 [5].

Помимо вышеприведенных документов для правильного построения разделов и использования стандартизованной терминологии должны быть учтены требования ГОСТ 8.010-2013 [6] и ГОСТ 30372-95 [7].

Измерения могут осуществляться двумя методами – кондуктивным и радиационным. В первом случае не требуется специальное экранированное от внешних воздействий помещение («безэховая камера») и достижима более высокая точность измерений. Недостаток кондуктивного метода – необходимость наличия в испытуемом устройстве (ИУ) антенного разъема либо возможности его временной установки. Поскольку современные приемо-передающие модули систем широкополосного беспроводного доступа являются, как правило, встроенными в другое оборудование, оснащенные встроенными антенными системами, антенный разъем в них отсутствует, а его установка затруднительна либо невозможна в принципе. В этом случае применим только радиационный метод, при котором измеряются параметры радиоизлучения ИУ.

Значения погрешности измерений (таблица 1) также определяются [3] и соответствуют международным требованиям, приведенным в [5].

Таблица 1

Значения погрешности измерений

Параметр	Допустимая погрешность измерения
1. Частота	$\pm 1 \times 10^{-5}$
2. Занимаемая полоса частот	$\pm 5,0 \%$
3. Выходная мощность, кондуктивный метод	$\pm 1,5$ дБ
4. Побочные и внеполосные излучения, кондуктивный метод	$\pm 3,0$ дБ
5. Параметры радиоизлучения (все)	$\pm 6,0$ дБ
6. Напряжение питания	$\pm 3,0 \%$
7. Временные характеристики	$\pm 5,0 \%$

Вне зависимости от выбранного метода должны быть учтены возможные изменения параметров оборудования под воздействием окружающей среды. В соответствии с [5], измерения должны проводиться как в нормальных условиях, так и в экстремальных, с использованием комбинаций предельных значений, представленных в таблице 2.

В случае измерений кондуктивным методом используется схема проведения измерений, рекомендуемая в [5, 8], представленная на рисунке 1а. После построения высокочастотного тракта для проведения измерений энергетических величин проводится его калибровка и вычисляется ослабление $A_{вчт}$ между ИУ и средством измерения из выражения:

$$A_{вчт} = A_{НО} + A_{АТТ} + A_{КАБ}, \quad (1)$$

где $A_{НО}$ – ослабление, вносимое направленным ответвителем; $A_{АТТ}$ – ослабление аттенюатора; $A_{КАБ}$ – суммарное ослабление соединительных кабелей и переходников.

При отсутствии информации о параметрах оборудования, использованных в выражении (1), измерение $A_{вчт}$ проводят методом замещения.

Условия проведения измерений

Наименование влияющей величины	Значение	
	Нормальные условия	Экстремальные условия
Температура окружающего воздуха	от +15°C до +35°C	от -20°C до +55°C
Относительная влажность воздуха	от 20 % до 75 %	от 20 % до 75 %
Напряжение электропитания: - при питании от стационарной сети	230 В ± 10 %	230 В ± 10 %
- при питании от свинцово-кислот-ной бата- реи транспортного средства	$1,1 \times U_{\text{БАТ.НОМ}} \pm 10 \%$	$U_{\text{БАТ.НОМ}} - 10\%$ $U_{\text{БАТ.НОМ}} + 30\%$
- при питании от литиевой батареи	$U_{\text{БАТ.НОМ}}$	$U_{\text{БАТ.НОМ}} \pm 15 \%$
- при питании от никель-кадмиевой батареи		$U_{\text{БАТ.НОМ}} - 10\%$ $U_{\text{БАТ.НОМ}} + 15\%$
Частота тока питающей сети	50 Гц ± 1 Гц	50 Гц ± 1 Гц

В первом случае измерения энергетических параметров проводят для одного АФТ с последующим расчетом результата измерений с учетом количества АФТ. Неравномерное распределение

мощности между несколькими АФТ требует их объединения при помощи сумматора в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1б [5, 8].

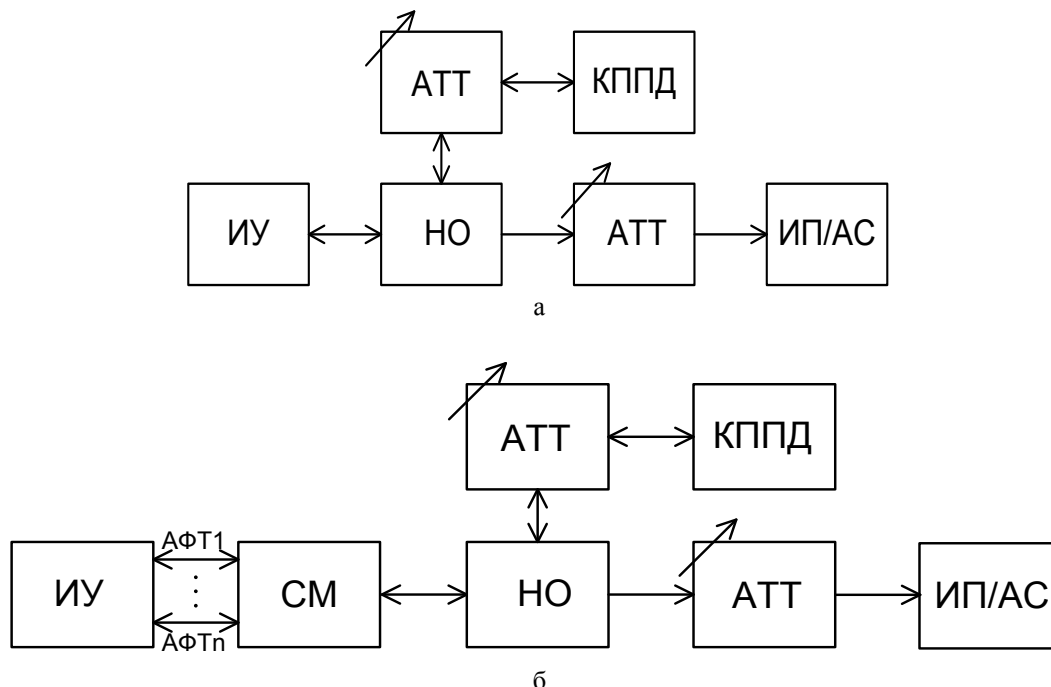


Рисунок 1 – Схема измерения параметров кондуктивным методом:

а – для оборудования с одним антенно-фидерным трактом; б – для оборудования с адаптивной антенной системой и несколькими антенно-фидерными трактами. АТТ – аттенуатор; АФТ – антенно-фидерный тракт;

ИП/АС – измерительный приемник/анализатор спектра; КППД – контрольный приемо-передатчик;

НО – направленный ответвитель; СМ – сумматор

Ослабление A_{CM} , вносимое сумматором, должно быть добавлено к затуханию высокочастотного тракта $A_{вчт}$. Измерение частотных параметров проводится на выходе каждого из АФТ с регистрацией предельных граничных значений.

При отсутствии антенного разъема и невозможности применения кондуктивного метода измерений, измерения проводят радиационным методом в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 2 [8].

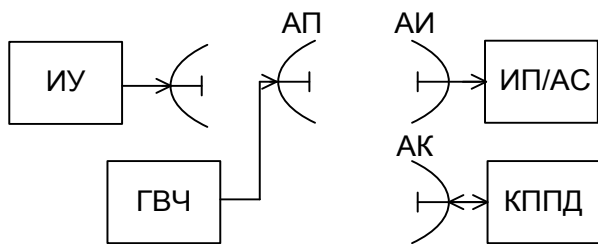


Рисунок 2 – Схема измерения параметров радио-излучения: АИ – антенна измерительная; АК – антенна контрольная; АП – антенна подстановочная; АФТ – антенно-фидерный тракт; ИУ – испытуемое устройство; ГВЧ – генератор высокочастотный; КППД – контрольный прямо-передатчик

Немаловажным этапом подготовки к выполнению измерений является настройка вспомогательного оборудования и обеспечение режимов работы ИУ. Для осуществления данной операции требуется наличие подробной технической документации на испытуемое оборудование, а также возможность работы с программным обеспечением низкого уровня ИУ. Результатом всех подготовительных операций является собранный измерительный тракт (рисунок 1) который обеспечивает непрерывную передачу от ИУ к ИП/АС и КППД испытательной последовательности. Измерения проводят для всех режимов передачи, реализуемых ИУ в соответствии с конструкторско-технической документацией.

2. Валидация методики выполнения измерений

В ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 [9] методы испытаний и оценка их пригодности отнесены к факторам, определяющим правильность и надежность испытаний, проводимых лабораторией. В соответствии с требованиями стандарта разработанные или принятые лабораторией методы могут быть использованы, если оценена

их пригодность. Оценка пригодности методики (валидация) подтверждает, что уравнение, которое связывает результат измерения с другими измеренными величинами и указанная совокупность условий, при которых данное уравнение справедливо достаточны для достижения цели измерений.

Проведем валидацию МВИ путем идентификация основных источников неопределенности с их последующим исследованием с помощью диаграмм «причина – следствие» для выяснения как взаимной связи, так и влияния на неопределенность конечного результата.

2.1. Оценка источников неопределенностей и их значений

Проведем оценку неопределенности измерений для схемы измерений, представленной на рисунке 1а. ИУ подключено к измерительному приёмнику (ИП) (измерителю мощности (ИМ)) через направленный ответвитель и аттенуатор 10 дБ коаксиальным кабелем. Номинальная максимальная эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) передатчика ИУ составляет 12 дБм.

2.1.1. Измеритель мощности

Измеритель мощности имеет встроенный калибратор. Неопределённость установки уровня калибратора составляет $\pm 1,2 \%$ и имеет равномерное распределение. Стандартная неопределенность:

$$u_{j1} = \frac{1,2}{\sqrt{3} \times 23,0} = 0,030 \text{ дБ.}$$

Рассогласование при калибровке внутренним калибратором:

Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) источника опорного сигнала – 1,05: $\Gamma_{rs} = 0,024$;

КСВН термодатчика – 1,15: $\Gamma_{load} = 0,07$;

Неопределенность из-за рассогласования составляет:

$$u_{jmi} = \frac{|\Gamma_{gen}| \times |\Gamma_{load}| \times |S_{21}| \times |S_{12}| \times 100\%}{\sqrt{2} \times 11,5}; \quad (2)$$

$$u_{jmr} = \frac{0,024 \times 0,07 \times 100\%}{\sqrt{2} \times 11,5} = 0,010 \text{ дБ.}$$

Коэффициент калибровки: неопределенность коэффициента калибровки составляет $\pm 2,3\%$ от уровня мощности. Стандартная неопределенность u_{jcalf} .

$$u_{jcalf} = \frac{2,3}{\sqrt{3} \times 23,0} = 0,058 \text{ дБ.}$$

Суммарная стандартная неопределенность, вносимая ИМ u_{cms} :

$$u_{cms} = \sqrt{u_{jrl}^2 + u_{jnr}^2 + u_{jcalf}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,010^2 + 0,058^2} = 0,066 \text{ дБ.}$$

2.1.2. Аттenuатор, направленный ответвитель и соединяющие кабели

Исходные данные для оценки неопределенностей, вносимых несовершенством аттenuатора, направленного ответвителя и соединяющих кабелей представлены в таблице 3.

Для снижения КСВН используются аттenuаторы 6 дБ. В первую очередь проводят опорные измерения тракта в соответствии со схемой на рисунке 3. Результатом измерений является калибровочное значение А.

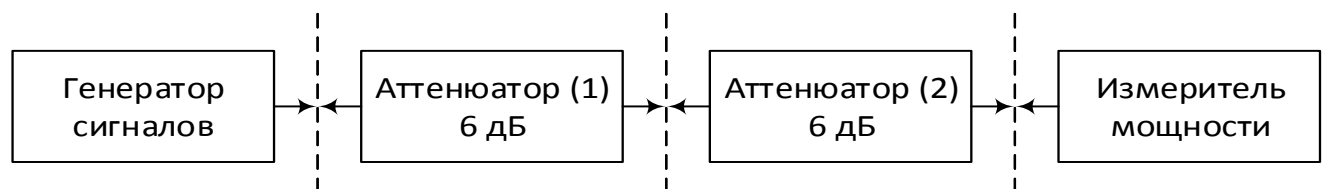


Рисунок 3 – Схема опорных измерений

Стандартные неопределенности, вызванные рассогласованием компонент схемы, приведенной на рисунке 3, могут быть найдены из (2) для следующих комбинаций:

- аттenuатор (1) и (2): $u_{jmat12} = 0,051$ дБ;
- аттenuатор (1) – ИМ: $u_{jmat12} = 0,01$ дБ;
- генератор – аттenuатор (2):

$$u_{jgat2} = 0,028 \text{ дБ;}$$

- генератор – ИМ: $u_{jmgps2} = 0,005$ дБ;

Суммарная неопределенность опорных измерений составит:

Таблица 3
Параметры компонент тракта

Устройство	Коэффициент стоячей волны по напряжению	Коэффициент отражения Г
Генератор сигналов	$\leq 1,5$	0,200
Датчик мощности	$\leq 1,15$	0,070
Аттenuаторы 6 дБ	$\leq 1,2$	0,091
Аттenuатор 10 дБ	$\leq 1,3$	0,130
Направленный ответвитель	$\leq 1,25$	0,111
Кабель	$\leq 1,2$	0,091

После чего в тракт включают аттenuатор 10 дБ и получают новое значение ослабления В. Таким же образом измеряют ослабление направленным ответвителем (НО) и получают значение ослабления С. Суммарное ослабление аттenuатора 10 дБ и НО составит $(A - B)$ дБ + $(A - C)$ дБ.

$$u_{cmr} = \sqrt{u_{jmat12}^2 + u_{jgat2}^2 + u_{jmat1ps}^2 + u_{jmgps}^2};$$

$$u_{cmr} = \sqrt{0,051^2 + 0,028^2 + 0,010^2 + 0,005^2} = 0,059 \text{ дБ.}$$

Включение в схему кабелей и аттenuатора 10 дБ

Проведя расчёты аналогичные для схемы опорных измерений с учетом неопределенностей из-за рассогласования всех комбинаций компонент тракта, представленного на рисунке 4, и включения в тракт соединительного кабеля

и аттенюатора 10 дБ получим следующее значение неопределенности:

$$u_{cm10c} = \sqrt{u_{jmat1c}^2 + \dots + u_{jmgps}^2};$$

$$u_{cm10c} = \sqrt{0,051^2 + 0,073^2 + \dots + 0,001^2 + 0,000^2} = 0,142 \text{ дБ.}$$

С учетом значения неопределенности измерений схемы опорных измерений получаем суммарную неопределенность измерений, источником которой является несовершенство компонент, входящих в состав схемы на рисунке 4:

$$u_{cm10} = \sqrt{u_{jm10c}^2 + u_{cmr}^2} = \sqrt{0,142^2 + 0,059^2} = 0,154 \text{ дБ.}$$

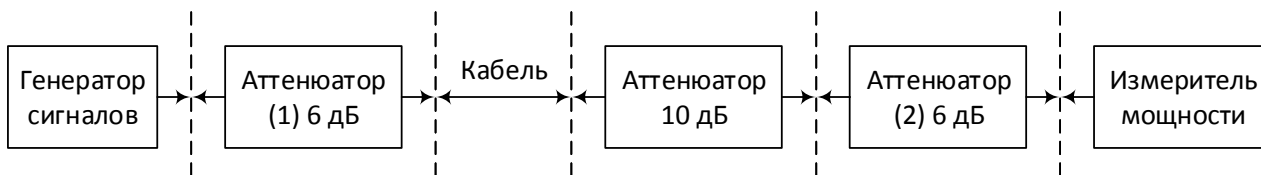


Рисунок 4 – Схема измерений, включающая аттенюатор 10 дБ

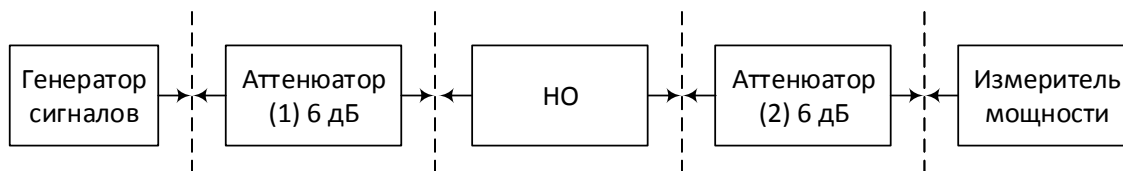


Рисунок 5 – Схема измерений, включающая направленный ответвитель

Аналогично для схемы на рисунке 5 оцениваем вклад НО в неопределенность измерений путем оценки неопределенностей из-за рассогласования между компонентами:

$$u_{cmDC} = \sqrt{u_{jmdCat2}^2 + u_{jmdCat1}^2 + u_{jmgDC}^2 + u_{jmpsDC}^2};$$

$$u_{jmdc} = \sqrt{0,062^2 + 0,062^2 + 0,034^2 + 0,012^2} = 0,095 \text{ дБ.}$$

Суммарная стандартная неопределенность при включении НО в тракт (рисунок 3):

$$u_{cmDC} = \sqrt{u_{jmdc}^2 + u_{cmr}^2} = \sqrt{0,095^2 + 0,059^2} = 0,112 \text{ дБ.}$$

Измерительный приемник:

Линейность измерительного приёмника в соответствии с документацией принимаем равной $\pm 0,04$ дБ, закон распределения равномерный, стандартная неопределенность:

$$u_{jmin} = \frac{0,04}{\sqrt{3}} = 0,023 \text{ дБ.}$$

Неопределённости измерения ослабления тракта:

Суммарная стандартная неопределенность:

$$u_{cate} = \sqrt{u_{c10c}^2 + u_{cdc}^2} = \sqrt{0,156^2 + 0,114^2} = 0,194 \text{ дБ.}$$

2.1.3. Рассогласование в процессе измерений

Из (2) рассчитаем неопределенность путем оценки неопределенностей вызванных рассогласованием между компонентами: u_{jmEc} – испытуемым образцом и коаксиальным кабелем, u_{jmc10} – соединительным кабелем и аттенюатором 10 дБ, u_{jm10DC} – аттенюатором 10 дБ и НО, u_{jmdcPs} – НО и ИМ, u_{jmE10} – испытуемым образцом и аттенюатором 10 дБ, u_{jmcDC} – соединительными кабелями и НО, u_{jmdc} – испытуемым образцом и НО.

Предполагая, что рассчитанные выше величины не коррелированы, получаем суммарную стандартную неопределенность, вызван-

ную рассогласованием компонент тракта при проведении измерений:

$$u_{cm} = \sqrt{u_{jmEc}^2 + u_{jmc10}^2 + \dots + u_{jmcDC}^2 + u_{jmEDC}^2},$$

$$u_{cm} = \sqrt{0,112^2 + 0,073^2 + 0,089^2 + 0,149^2 + 0,058^2 + 0,013^2} = 0,232 \text{ дБ.}$$

2.1.4. Внешние влияющие величины

Оценить влияние неопределенности измерения температуры и напряжения питания на неопределенность измерения уровня сигнала можно из формулы: $u_{jcvd} = \sqrt{u_{jl}^2 (A^2 + u_{ja}^2)}$, где u_{jl} – стандартная неопределенность, влияющая на искомую; A – среднее значение влияющей величины; u_{ja}^2 – ее стандартная неопределенность в соответствии с [10].

Суммарная стандартная неопределенность, вызванная влияющими факторами, составит:

$$u_{jinf} = \sqrt{u_{jpt}^2 + u_{jpv}^2} = \sqrt{0,105^2 + 0,026^2} = 0,108 \text{ дБ.}$$

2.1.5. Расчёт неопределенности по типу А (случайная составляющая)

Проведем серию измерений максимальной ЭИИМ опытного образца стандарта IEEE 802.11g.

Используя схемы измерений, приведенные на рисунках 3–5, определим ослабление $A_{вчт}$ высокочастотного измерительного тракта $A_{вчт} = 12,04$ дБ. Из технической документации находим значение коэффициента усиления антенны, используемой с ИУ, $G_A = 2$ дБи.

Установим максимальную мощность передатчика ИУ и настроим его на верхнюю, а после на нижнюю частоту рабочего диапазона. Зафиксируем большее значение измеренной мощности $P_{изм}$. Для кондуктивного метода измерений значение ЭИИМ вычислим из выражения:

$$\text{ЭИИМ} = P_{изм} + A_{вчт} + G_A.$$

Проведем 9 измерений ЭИИМ и исходя из результатов измерений получаем:

$$u_{eirp} = \sqrt{\frac{Y + \frac{X^2}{n}}{n-1}} = \sqrt{\frac{1342,60 + \frac{12082,41}{9}}{8}} = 0,12 \text{ дБ.}$$

Среднее значение результата измерения:
 $\bar{x} = 12,22$ дБм.

2.1.6. Расширенная неопределенность измерений эквивалентной изотропно излучаемой мощности передатчика

$$u_{eirp} = \sqrt{u_{cms}^2 + u_{catc}^2 + u_{cm}^2 + u_{cinf}^2 + u_{cran}^2};$$

$$u_{eirp} = \sqrt{0,066^2 + 0,194^2 + 0,232^2 + 0,108^2 + 0,12^2} = 0,35 \text{ дБ.}$$

$$U = ku_{eirp} = 1,96 \cdot 0,35 = \pm 0,69 \text{ дБ, } P_D = 95 \text{ \%}.$$

Результат измерения: ЭИИМ = 12,22 ± 0,69 дБм, $P_D = 95 \text{ \%}$.

Полученная с использованием предлагаемой МВИ расширенная неопределенность измерений ЭИИМ передатчика удовлетворяет требованиям, предъявляемым в [3, 5], а значение ЭИИМ не превышает приведенных в [3] норм.

Заключение

Разработанная методика выполнения измерений позволяет решить задачу подтверждения соответствия приемопередающего оборудования локальных беспроводных сетей в отсутствие стандартизированной методики выполнения измерений, а также при невозможности управления программным обеспечением низкого уровня, используемого испытуемом устройстве.

Итогом анализа стал расчет расширенной неопределенности измерений энергетических параметров кондуктивным методом, которая составила $U = \pm 0,69$ дБ при доверительной вероятности $P_D = 95 \text{ \%}$. Расчетное значение неопределенности в 2 раза меньше норм, предъявляемых ТНПА (± 1,5 дБ) к точности измерений вышеуказанных параметров.

Полученные результаты подтверждают возможность использования разработанной методики выполнения измерений в указанной области применения.

Список использованных источников

1. Технический регламент Таможенного союза (ТС) «Электромагнитная совместимость технических средств» (ТР ТС 020/2011).

- ГОСТ Р 52459.17-2009 (EN 301 489-17-2008) «Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства радиосвязи. Часть 17. Частные требования к оборудованию широкополосных систем передачи в диапазоне 2,4 ГГц, высокоскоростных локальных сетей в диапазоне 5 ГГц и широкополосных систем передачи данных в диапазоне 5,8 ГГц».
- СТБ 1788-2009 «Радиосвязь. Оборудование широкополосного беспроводного доступа. Требования к параметрам радиоспектра, электромагнитной совместимости и безопасности».
- IEEE Std 802.11:2007. Information technology telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.
- ETSI EN 300 328:2006. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matters (ERM); Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques; Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.
- ГОСТ 8.010-2013 ГСИ «Методики выполнения измерений».
- ГОСТ 30372-95 «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения».
- Alexander, Tom. Optimizing and Testing WLANs. Proven techniques for maximum performance. / By Tom Alexander. 2007 – 259 p.
- ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».
- ETSI TR 100 028-2 V1.3.1 (2001-03) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics Part 2.

MODERN MEASUREMENT APPROACHES OF BROADBAND WIRELESS TRANSCEIVER MODULES PARAMETERS

Murauyou A.A.¹, Khaminich A.L.²

¹Belarusian state institute of standardization and certification, Minsk, Belarus

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus
e-mail: olegmur@yandex.ru

Abstract. The article contains results of development and use of non-standard methods for measuring parameters of broadband radio transceiver modules for compliance with the technical regulations of the Customs Union.

Keywords: broadband radio systems, communications, technical regulations of the Customs Union, the uncertainty of measurement.

References

- TR CU 020/2011. Technical Regulations of the Customs Union (CU). Electromagnetic compatibility of technical means. 2011. 84 p. (In Russian)
- GOST R 52459.17-2009 (EN 301 489-17-2008). Compatibility of technical equipment. Technical radio communications. Part 17: Particular requirements for equipment broadband transmission systems in the 2.4 GHz band, high-speed local area networks in the 5 GHz band and wideband data transmission systems in the 5.8 GHz band. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 16 p. (In Russian).
- STB 1788-2009. Radio communication. Broadband wireless access equipment. Requirements for the parameters of the radio spectrum, electromagnetic compatibility and safety. Minsk, BELGISS Publ., 2009. 45 p. (In Russian).

4. IEEE Std 802.11:2007. Information technology telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. New York, IEEE Publ., 2013. 1076 p.
5. ETSI EN 300 328:2006. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum matters (ERM); Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques; Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive. Route des Lucioles, ETSI Publ., 2006. 42 p.
6. GOST 8.010-2013 GSI Methods of measurement. Minsk, Eurasian Council for Standardization, Metrology and Certification Publ., 2013. 16 p. (In Russian).
7. GOST 30372-95 Compatibility of technical equipment. Terms and definitions. Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publ., 1995. 19 p. (In Russian).
8. Alexander, Tom. Optimizing and Testing WLANs. Proven techniques for maximum performance. / Tom Alexander. 2007 – 259 p.
9. GOST ISO / IEC 17025-2009 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 36 p. (In Russian).
10. ETSI TR 100 028-2 V1.3.1 (2001-03) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics Part 2. Route des Lucioles, ETSI Publ., 2001. 277 p.

Поступила в редакцию 07.06.2014.