

УДК 621.31.048

В.В. Князев

Національний технічний університет «ХПИ», Харків, Україна

## ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА УКРАИНЫ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

*В статье рассмотрены аспекты оценки неопределенности результатов испытаний технических средств с целью подтверждения их соответствия требованиям Технического регламента Украины по электромагнитной совместимости. Указаны проблемные вопросы, связанные с проведением такой оценки. Описаны возможные варианты оценки, предлагаемые автором с учетом рекомендаций соответствующих стандартов МЭК. Приведены примеры оценки неопределенности результатов испытаний в конкретной испытательной лаборатории*

**Ключевые слова:** испытание, неопределенность, электромагнитные помехи, техническое средство, устойчивость, электромагнитная совместимость.

### Введение

**Постановка проблемы.** Технический регламент Украины по электромагнитной совместимости (ЭМС) [1], введенный в действие с 1 января 2011 года, предусматривает обязательное подтверждение соответствия технических средств (ТС), которые содержат в своей основе электрические, электронные и радиоэлектронные компоненты, требованиям ЭМС. Отметим, что Технический регламент Украины по электромагнитной совместимости является аналогом соответствующей Директивы ЕС [2]. Современные требования ЭМС рассматриваются в двух аспектах: первый – требования к предельно допустимому уровню электромагнитных помех, которые создает ТС при своей работе; второй – требуемый уровень устойчивости ТС к электромагнитным помехам, которые могут воздействовать на ТС в месте его эксплуатации. Подтверждение соответствия ТС, предъявляемым к нему требованиям по параметрам ЭМС, должно быть проведено компетентным органом – испытательной лабораторией. Национальная аккредитация испытательных лабораторий осуществляется путем подтверждения их соответствия требованиям стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025 [3]. Указанный стандарт регламентирует (п. 5.4.6) обязательность применения процедуры оценки неопределенности измерений, проводимых испытательной лабораторией. Это позволяет осуществлять сравнение результатов испытаний, проведенных различными лабораториями.

**Анализ последних публикаций.** Для унификации процедуры оценки неопределенности, Международная электротехническая комиссия разработала группу стандартов (публикаций) CISPR 16 - 4 [4 – 7]. Следует отметить некоторые положения стандарта CISPR 16-4-1 [4], важные для обсуждае-

мой в рамках настоящей статьи темы. Введено понятие «стандартная неопределенность соответствия» – SCU (standards compliance uncertainty). SCU – параметр, связанный с результатами измерений, проведенных в строгом соответствии с тем, как описано в стандарте. Этот параметр характеризует дисперсию значения, которое может быть обоснованно приписано измеряемой величине. Поэтому значение SCU является ориентиром при проведении соответствующих измерений в испытательной лаборатории. Введено понятие «воспроизводимость» или «повторяемость» (reproducibility) результатов измерений. Его числовое значение используется для оценки близости значений, полученных при измерениях одной и той же физической величины, проведенных при различных значениях одного или более влияющих факторов (influence quantity), которые указаны в конкретном стандарте. В общем случае, воспроизводимость результатов зависит также и от других факторов. Поэтому, степень близости результатов может быть установлена только с определенной вероятностью. Введено понятие «коэффициент чувствительности» (sensitivity coefficient), который характеризует изменение измеряемой физической величины в зависимости от одного из влияющих факторов. Очевидно, что определение коэффициентов чувствительности для каждого вида испытаний, представляет достаточно трудоемкую научно-исследовательскую работу.

Оценка неопределенности результатов измерений уровней эмиссии не представляет принципиальных трудностей. Процедура испытаний строго регламентирована в соответствующих стандартах (публикациях) CISPR, например, для оборудования информационных технологий в CISPR 22:2008. Требования к измерительному и вспомогательному оборудованию детально описаны в CISPR 16-1-1:2010. Более

того, в официальных рекомендациях содержатся указания на конкретные типы измерительного оборудования. Поэтому в рамках данной статьи рассматривается аспект испытаний устойчивости. Для общности изложения отметим введенные в стандарте CISPR 16-4-1 [4] категории источников неопределенности при проведении стандартизованных измерений уровня эмиссии, которые в полной мере относятся к испытаниям устойчивости. Введено три категории источников, обусловленные соответственно: испытательной лабораторией; испытательным стандартом и испытываемыми образцами продукции. К числу возможных источников погрешности, связанных с испытательной лабораторией, отнесены такие: навыки оператора, проводящего измерения; обработка результатов измерений; протоколирование; степень внедрения требований стандарта в процедуры измерений и программное обеспечение; система качества. Очевидно, что числовое значение вклада этих источников в бюджет неопределенности измерений может быть оценено только экспертным путем. Источники, связанные с испытательным стандартом, следующие: установленные технические требования измерений; характеристики измерительного оборудования, включая калибровку и верификацию; описание процедуры измерений; окружающие условия; размещение испытываемого оборудования (ИО); функционирование ИО; тип ИО. Числовые значения основных источников этой категории указаны в технической документации на средства измерения, свидетельствах о метрологической аттестации, калибровке и протоколах верификации. Следовательно, указанная категория источников может быть учтена достаточно корректно. Среди источников, отнесенных к испытываемому оборудованию, наибольшую трудность при анализе вклада в неопределенность результата испытаний вызывает учет стабильности качества ИО. Однако, для единичных образцов ИО, этот источник отсутствует.

Испытания устойчивости ТС к действию сторонних электромагнитных помех включают много видов испытаний, которые отображают разнообразие электромагнитных явлений (гармонических и импульсных). Сегодня, в мировой практике используется более 40 видов испытаний устойчивости ТС. Методики проведения испытаний регламентируются международными, межгосударственными стандартами, а также национальными и отраслевыми стандартами Украины.

Основной проблемой при оценке неопределенности результатов таких испытаний является то, что сам результат является качественным, а не количественным [8], поскольку, как правило, устойчивость ТС характеризуется четырьмя качественными критериями устойчивости. МЭК направляет усилия на подготовку рекомендаций, которые позволяют осу-

ществлять согласованные процедуры оценки неопределенности испытаний устойчивости ТС. Однако пока такие рекомендации не опубликованы.

**Целью данной статьи** является процедура оценки неопределенности результатов подтверждения соответствия технических средств требованиям технического регламента Украины по электромагнитной совместимости на примере рассмотрения оценки неопределенности результатов испытаний устойчивости ТС к действию быстрых переходных процессов.

### Методика проведения испытаний

Параметры выходного сигнала с генератора помех заданы в ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 [9], с указанием допустимого диапазона отклонений этих параметров. Испытательное напряжение представляет собой последовательность пакетов импульсов. Пакеты импульсов имеют заданную длительность. Период повторения пакетов составляет 300 мс. Каждый пакет состоит из 75 униполярных импульсов. Длительность фронта импульса 5 нс, длительность на полуспаде 50 нс. Амплитуда импульсов напряжения зависит от уровня жесткости испытаний и изменяется в диапазоне от 250 В до 4000 В.

Методика проведения испытаний устойчивости ТС к действию быстрых переходных процессов регламентируется тем же стандартом [9]. Предусмотрено два вида испытаний:

- с использованием устройства связи-развязки (УСР), как правило, для испытания портов электрического питания;
- с использованием емкостных клещей, как правило, для испытания портов кабельных линий связи.

При проведении аттестации установки определяются значения всех заданных параметров выходного напряжения, в том числе:

- амплитуда одиночного импульса напряжения  $U_{\text{вых}}$ ;
- длительность фронта одиночного импульса напряжения  $T_{\text{ф}}$ ;
- длительность одиночного импульса напряжения на полуспаде  $T_{0,5}$ ;
- длительность пачки импульсов  $T_{\text{п}}$ ;
- период следования пачек импульсов  $T$ .

Диапазон допустимых отклонений значений параметров напряжения по амплитуде составляет 10%, а по временным – до 30%. Можно предположить, что дестабилизирующее действие быстрых переходных процессов с амплитудой на нижней границе уровня при длительности импульсов на нижней границе будет меньше, чем в случае, когда значения этих параметров находятся близи верхних допустимых границ. Следовательно, близость параметров генератора к заданным в стандарте [9] зна-

чениям, является важным моментом для обеспечения воспроизводимости результатов испытаний.

### Процедура оценки неопределенности

Рассмотрим подход, предложенный в стандарте [4] и работе [8], с учетом того, что документально обоснованные значения неопределенности могут быть определены только для процессов, связанных с измерением выходных параметров генератора. Оценка вклада остальных источников пока носит экспертный характер. Поэтому, далее приведены результаты оценки неопределенности, связанной с процедурой аттестации испытательного генератора. Расчет составляющих бюджета неопределенности измерений требует следующих шагов:

- 1) определить характеристики возмущающих величин (т.е. что создается контрольно-измерительной аппаратурой);
- 2) идентифицировать составляющие бюджета неопределенности и их величины;
- 3) определить стохастические распределения каждой составляющей;
- 4) вычислить стандартные неопределенности  $u(x_i)$  для каждой составляющей;
- 5) Вычислить суммарную неопределенность  $u_c(y)$ , коэффициент охвата  $k$  и расширенную неопределенность  $U_c = u_c(y) \cdot k$ .

Для представления составляющих неопределенности используется диаграмма Исикавы («рыбий ске-

лет»). Изображение неопределенности результатов испытаний при этом выглядит как «хребет», а факторы (причины) первого уровня образуют «большие кости» этого скелета. Составляющие неопределенности факторов первого уровня образуют «средние кости», они являются следствием «малых костей» и т.д. Рассмотрим составляющие неопределенности результатов аттестации генератора быстрых переходных процессов. Отметим, что первоначально, производится независимая оценка бюджетов каждой составляющей неопределенности, т.е.  $U_{\text{вых}}$ ,  $T_{\text{ф}}$ ,  $T_{0,5}$ ,  $T_{\text{п}}$  и  $T$ . В качестве основного измерительного устройства используется цифровой запоминающий осциллограф. Электрическая схема, используемая при аттестации всех параметров, одна и та же. Поэтому, без уменьшения общности рассмотрения, проанализируем в качестве примера неопределенность результатов аттестации генератора быстрых переходных процессов по параметру  $U_{\text{вых}}$ . В табл. 1 представлены результаты оценки составляющих бюджета этой неопределенности. Значения, отмеченные звездочкой, взяты из свидетельств об аттестации используемого оборудования. Таким образом, составляющая неопределенности, обусловленная генератором, имеет значение расширенной неопределенности 4,36%. Неопределенности, обуславливаемые методикой подачи помехи, схемой организации рабочего места, условиями окружающей среды и личностью оператора еще требуют детального изучения.

Таблица 1

Бюджет неопределенности аттестации генератора по параметру  $U_{\text{вых}}$

Составляющая	Значение составляющей, %	Распределение вероятностей	Вклад неопределенности, %
Калибровка осциллографа ( $\Delta_{\text{ос}}$ )	$\pm 1^*$	нормальное	0,5
Калибровка делителя ( $\Delta_{\text{к}}$ )	$\pm 1,4^*$	нормальное	0,7
Несовпадение волнового сопротивления измерителя – волнового сопротивления кабеля ( $\Delta_{\text{ик}}$ )	$\pm 0,5$	U-образное	0,35
Несовпадение волнового сопротивления кабеля – волнового сопротивления осциллографа ( $\Delta_{\text{ко}}$ )	$\pm 0,3$	U-образное	0,21
Границы отн. погрешности при измерении амплитуды сигнала ( $\Delta_{\text{ан}}$ )	$\pm 2$	прямоугольное	1,16
Погрешность считывания показаний ( $\Delta_{\text{сп}}$ )	$\pm 1$	прямоугольное	0,58
Рассеяние значений выходного напряжения генератора ( $\Delta_{\text{рп}}$ )	Значения взяты из протокола первичной аттестации	нормальное	0,98
$u_c$			1,93
Расширенная неопределенность $U = 2,262 u_c$			4,36

**Примечание:** Коэффициент охвата принят равным 2,262, поскольку доминирующий вклад оказывают неопределенности, распределенные по нормальному закону.

Осуществим предварительную оценку неопределенности результатов испытаний устойчивости ТС к действию быстрых переходных процессов. Со-

ставляющие бюджета этой неопределенности, которые удастся оценить сегодня, представлены в табл. 2 для случая воздействия с использованием УСР.

Таблиця 2

Оценка неопределенности результатов испытаний устойчивости ТС к быстрым переходным процессам при использовании УСР

Источник неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u_c$ %
Погрешность аттестации генератора	нормальное	1,93
Погрешность аттестации УСР	нормальное	1,4
Влияние климатических условий	нормальное	0,12
Влияние значения сопротивления заземления	нормальное	1,8
Суммарная стандартная неопределенность ( $u$ )		2,99
<b>Расширенная неопределенность (U)</b>		<b>6,76</b>

### Выводы

1. Предложена методика оценки неопределенности результатов испытаний устойчивости ТС к воздействию быстрых переходных процессов. Определены составляющие неопределенности при проведении испытаний.

2. Показано, что расширенная неопределенность результатов испытаний по каждому параметру составляет около 7%. С учетом того, что таких определяющих параметров пять, общая неопределенность может достигнуть значения 15%.

3. Допустимые отклонения параметров испытательного напряжения лежат в диапазоне от 10% до 30%. Следовательно, общая неопределенность не превышает возможных отклонений в параметрах напряжения.

4. Основным направлением обеспечения достоверности и воспроизводимости результатов испытаний устойчивости ТС является близость параметров выходного напряжения требованиям стандарта [9].

### ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМОГАМ ТЕХНІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ УКРАЇНИ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

В.В.Князєв

У статті розглянуті аспекти оцінки невизначеності результатів випробувань технічних засобів з метою підтвердження їх відповідності вимогам Технічного регламенту України з електромагнітної сумісності. Вказані проблемні питання пов'язані з проведенням такої оцінки. Описані можливі варіанти оцінки, пропонувані автором з урахуванням рекомендацій відповідних стандартів IEC. Наведено приклади оцінки невизначеності результатів випробувань в конкретній випробувальній лабораторії.

**Ключові слова:** випробування, невизначеність, електромагнітні завади, технічний засіб, несприйнятливість, EMC.

### UNCERTAINTY EVALUATION OF RESULTS OF CONFIRMATION OF TECHNICAL EQUIPMENTS TO THE REQUIREMENTS OF TECHNICAL REGULATION OF UKRAINE ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

V.V. Kniaziev

In the article the aspects of estimation of uncertainty of results of tests of technical equipments are considered with the purpose of confirmation of their accordance to the requirements of Technical regulation of Ukraine on electromagnetic compatibility. Problem questions are indicated, related to realization of such estimation. Possible variants of estimation offered by an author subject to recommendations of corresponding IEC standards are described. Examples of uncertainty estimation of test results in a concrete test laboratory are made.

### Список литературы

1. Технічний Регламент України з підтвердження відповідності електромагнітної сумісності.

2. Directive 2004/108/EC of the European parliament and of the council of 15 December 2004 On the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC.

3. ДСТУ IEC 61000-4-9:2007 EMC. Частина 4-9. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до імпульсних магнітних полів (IEC 61000-4-9:2001, IDT).

4. CISPR 16-4-1:2009 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1 Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainties in standardized EMC test.

5. CISPR 16-4-2 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainty in EMC measurements.

6. CISPR 16-4-3 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-3 Uncertainties, statistics and limit modeling – Statistical considerations in the determination of EMC compliance of mass-produced products.

7. CISPR 16-4-4 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4 Uncertainties, statistics and limit modeling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services.

8. Князєв В.В. Оцінка неопределенности результатов испытаний технических средств по параметрам ЭМС / В.В. Князєв, И.П. Лесной // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – X.: ХУПС, 2007. – Вип. 6 (64). – С. 44-46.

9. ДСТУ IEC 61000-4-4:2008 EMC. Частина 4-4. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до швидких перехідних процесів / пакетів. (IEC 61000-4-4:2004, IDT).

Поступила в редколлегию 14.12.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**Keywords:** *test, uncertainty, electromagnetic interference, technical equipment, immunity, electromagnetic compatibility.*