

УДК 621.31.048

И.П. Захаров, Н.С. Шевченко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПОДХОДОВ К ОЦЕНИВАНИЮ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ОБЛАСТИ ЭМС В ДОКУМЕНТАХ CISPR 16-4

Приведены особенности оценивания неопределенности в области электромагнитной совместимости, выделенные на основе анализа серии нормативных документов, подготовленных Международным специальным комитетом по радиопомехам. Отмечены основные моменты, определяющие специфику оценивания неопределенности при проведении стандартизованных испытаний на соответствие эмиссии и устойчивости, а также при испытаниях на соответствие ЭМС серийно выпускаемой продукции.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, измерение эмиссии, испытание на соответствие устойчивости, стандартная неопределенность соответствия, инструментальная неопределенность измерения.

Введение

Руководство по выражению неопределенности измерений GUM [1] является документом общего характера. При его применении для оценивания неопределенности в конкретных областях измерений возникает необходимость в исследовании целого ряда вопросов, присущих исключительно этим областям. Измерение параметров электромагнитной совместимости (ЭМС) также является довольно специфической областью и простое применение GUM для решения возникающих в ней задач часто встречает затруднения у сотрудников испытательных лабораторий по ЭМС. Именно поэтому Международным специальным комитетом по радиопомехам (CISPR) была выпущена серия публикаций CISPR 16-4, содержащая рекомендации, которые необходимо учитывать при оценивании неопределенности в области ЭМС и которые могут быть полезны при оценивании неопределенности в других областях.

Целью статьи является анализ особенностей оценивания неопределенности в документах CISPR 16-4.

Основная часть

Для разъяснения ряда вопросов, связанных с расчетом, интерпретацией и применением неопределенностей измерений в области ЭМС на сегодняшний день разработан ряд нормативных документов, в которых содержатся рекомендации, полезные при разработке или модификации стандартов по ЭМС, а также при практическом применении этих стандартов и подходов по оцениванию неопределенности. На международном уровне разработкой таких документов занимается Международная электротехническая комиссия (IEC), в частности, ее комитет CISPR. Подкомитетами А (измерения радио-

помех и статистические методы – Radio-interference measurements and statistical methods) и Н (нормы для защиты радиослужб – Limits for the protection of radio services) CISPR была выпущена серия публикаций CISPR 16-4, состоящая из пяти частей, объединенных общим названием «Неопределенности, статистика и моделирование пределов», причем части [2, 4 – 6] имеют статус технического отчета (CISPR/TR), а [3] – международного стандарта (CISPR). Две последние части [5, 6] посвящены вопросам статистики и моделирования пределов и в настоящей статье не рассматриваются.

Все эти документы разработаны на основе GUM [1] с учетом специфики оценивания неопределенности измерений конкретных параметров ЭМС.

Технический отчет CISPR/TR 16-4-1 [2], разработанный подкомитетом CISPR А, посвящен оцениванию неопределенности при стандартизованном испытании продукции на соответствие ЭМС. В нем приоритетное внимание было уделено оценкам неопределенности при измерениях эмиссии, в частности, связанной с напряжением, поглощающими клещами и измерениями излучений в полубезэховой камере и на открытой испытательной площадке. В документе отсутствует материал по неопределенности, связанной с испытаниями на соответствие устойчивости, который планируется рассмотреть в будущем (для этой цели в отчете зарезервированы отдельные разделы).

В документе введено понятие «стандартной неопределенности соответствия» (standards compliance uncertainty – SCU), связанной с утверждением о том, что конкретная продукция соответствует требованиям, указанным в стандарте CISPR. Термин SCU введен для того, чтобы различать все неопределенности, возникающие в ходе реального испытания на соответствие эмиссии, от инструментальной неопределенности измерения (measurement instrumenta-

tion uncertainty – MIU), которой, как правило, ограничиваются при решении классических задач метрологии, когда все соответствующие влияющие величины известны и «собственные неопределенности измеряемой величины» незначительны. Однако, в стандартизованных измерениях на соответствие эмиссии собственная неопределенность, связанная с измеряемой величиной, может быть значительной по сравнению с неопределенностью, относящейся к измерительным приборам. В связи этим, в типичных измерениях эмиссии SCU представляет общую неопределенность измеряемой величины и включает собственную неопределенность измеряемой величины и MIU. Для SCU в отчете определены парамет-

ры, источники неопределенности и влияющие величины, даны рекомендации относительно оценки величины SCU и ее реализации в критерии соответствия стандартизованного испытания на соответствие CISPR.

Особенностью оценивания неопределенности измерений при испытаниях продукции на эмиссию, является то, что ее составляющими являются неопределенность, связанная с отбором образцов из общей партии продукции, а также неопределенности, обусловленные стандартом, по которому проводятся испытания и который определяет измеряемую величину и метод измерения, средства измерения и условия проведения измерений (рис. 1).

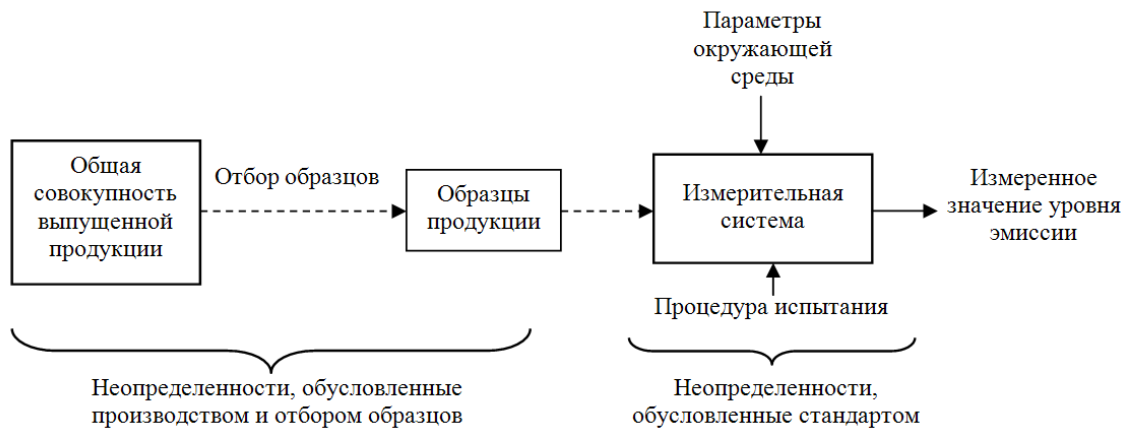


Рис. 1. Процесс измерений на соответствие излучения и связанные с ним категории источников неопределенности

Одной из особенностей при оценивании неопределенности измерений на соответствие эмиссии является наличие этапа определения основных целей оценивания неопределенности, поскольку в зависимости от цели требуются различные типы анализа неопределенностей (оценивание SCU или MIU, или неопределенности, связанной с методом измерения, или неопределенности, связанной с характе-

ристиками эмиссии серийно выпускаемой продукции), и учет их в критерии соответствия может быть различным. Кроме того, в зависимости от целей оценивания неопределенности должны приниматься во внимание различные категории ее источников. Основные категории источников неопределенности, имеющие существенное значение, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные категории источников неопределенности

Обусловленные испытательной лабораторией	Обусловленные стандартом испытания	Обусловленные производством и отбором испытываемых образцов
<ul style="list-style-type: none"> • навыки оператора; • анализ и расчеты; • протоколирование; • степень внедрения стандарта в процедуру измерения и программное обеспечение; • система качества. 	<ul style="list-style-type: none"> • установленные технические требования измерений; • характеристики измерительного оборудования, включая калибровку и верификацию; • описание процедуры измерений; • условия окружающей среды; • размещение испытываемого оборудования; • функционирование испытываемого оборудования; • тип испытываемого оборудования. 	<ul style="list-style-type: none"> • производственный допуск; • отбор образцов; • нерепрезентативная выборка.

В процессе оценивания неопределенности должен быть собран полный список соответствующих

источников неопределенности. В целях выявления источников неопределенности и влияющих величин,

следует рассмотреть полную спецификацию и каждое положение стандарта в качестве возможного источника неопределенности или влияющей величины. Кроме того, каждый шаг в процедуре измерения представляет, в принципе, возможный источник неопределенности. Для того чтобы упростить задачу выявления всех возможных источников неопреде-

ленности и избежать двойного учета источников в [2] предлагается использовать причинно-следственную диаграмму (диаграмма «рыбий скелет») при составлении списка источников неопределенности, с указанием их взаимосвязи и влияния на неопределенность результата измерения (рис. 2).

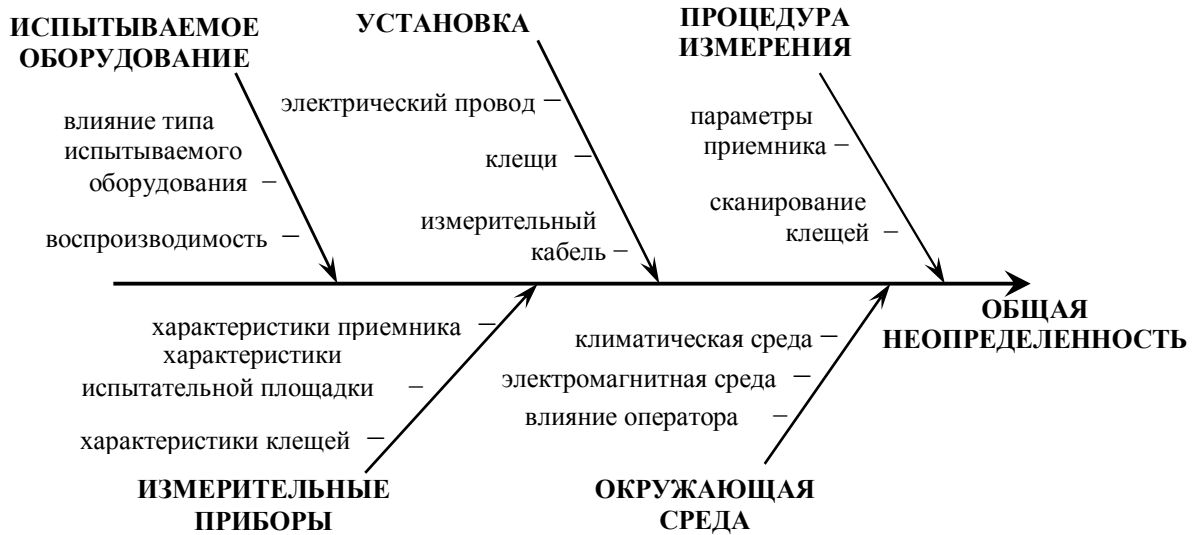


Рис. 2. Пример диаграммы «рыбий скелет» с указанием различных источников неопределенности

Важным этапом также является преобразование каждого источника неопределенности в одну или более влияющих величин.

В [2] приведен метод и примеры отнесения источников неопределенности к влияющим величинам. Здесь можно выделить некоторую особенность: влияющие величины, которые трудно определить и которые не могут быть определены вовсе (неустановленные влияющие величины) должны быть так-

же включены в бюджет неопределенности, несмотря на эту трудность. Это можно сделать, если принять диапазон значений для рассматриваемой влияющей величины или рассмотреть диапазон вероятностей для источника неопределенности.

На рис. 3 показана связь между источниками неопределенности, соответствующими влияющими величинами и результирующими неопределенностями.

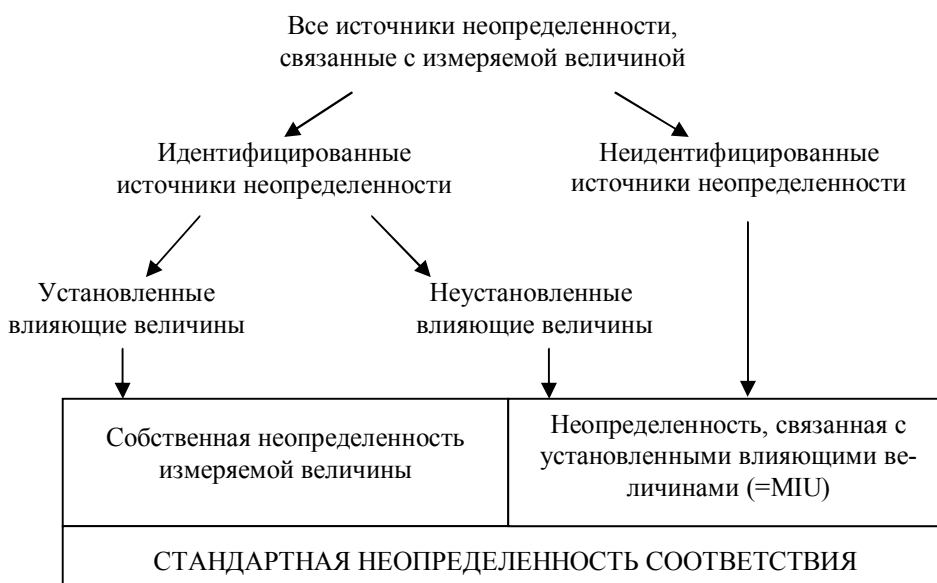


Рис. 3. Связь между источниками неопределенности, влияющими величинами и категориями неопределенности

После идентификации установленных и неустановленных влияющих величин и связанных с ними допусков, должна быть определена неопределенность результата измерения. Это может быть сделано путем моделирования стандартизованного метода измерения или посредством проведения эксперимента. Следует отметить, что [2] допускает в качестве оценки общей неопределенности помимо суммирования дисперсий приводит суммарную неопределенность, рассчитанную в виде полного дифференциала.

При оценивании неопределенности требуется модель, описывающая связь между измеряемой величиной и всеми установленными и неустановленными влияющими величинами. Такая модель может быть аналитической или численной. Однако для измерений ЭМС, как правило, не имеется точных моделей. Поэтому рекомендуется применять повторные измерения и статистические методы для оценивания величины стандартной неопределенности, связанной с влияющими величинами типа А.

В [2] также рассматривается связь неопределенности испытаний на соответствие с вероятностью возникновения проблемы электромагнитных помех (ЭМП) на практике. Этот вопрос кратко рассмотрен в отдельном подразделе и приложении документа. Проблема отнесения неопределенностей испытания на соответствие к возникновению ЭМП на практике не рассматривается в рамках этого документа (для конкретной измеряемой величины ее неопределенность и соответствующий предел относительно оценки «вероятности помех» представляется подкомитетом CISPR/H).

Стандарт CISPR 16-4-2 [3] предназначен для применения при вычислении неопределенности измерений в области ЭМС и устанавливает способы учета неопределенности измерений при оценке соответствия технических средств нормам промышленных радиопомех, установленных CISPR. Следует отметить, что из серии публикаций CISPR 16-4 только этот документ имеет статус международного стандарта.

Стандарт может быть также использован при проведении любых испытаний в области ЭМС, если при представлении результатов измерений требуется оценивать инструментальную составляющую неопределенности измерений, источником которой является измерительная система, используемая при проведении испытаний. Он содержит основные положения по оцениванию инструментальной составляющей неопределенности измерений, в частности величины и источники неопределенности измерений, формулы для расчета суммарной стандартной и расширенной неопределенностей, значения пределов расширенной неопределенности для различных видов измерений U_{CISPR} , а также критерий соответ-

ствия уровня помех испытываемых технических средств установленному пределу. Процедура оценивания неопределенности измерений, описанная в стандарте, соответствует методам, изложенным в [1]. Следует отметить, что согласно процедуре, изложенной в стандарте, все оценки неопределенностей имеют размерность дБ. Вопрос относительно пересчета и последующего представления оценки расширенной неопределенности и результата измерения в абсолютных единицах [7] не рассмотрен.

В стандарте указаны источники неопределенности и значения пределов расширенной неопределенности U_{CISPR} для измерений кондуктивных помех на портах электропитания, мощности помех и напряженности электрического поля излучаемых помех на открытой или альтернативной измерительной площадке. Другие виды измерений находятся на этапе рассмотрения. Приложение А стандарта содержит обоснование значений пределов расширенной неопределенности для различных видов измерений U_{CISPR} .

Следует отметить, что этот стандарт на сегодняшний день перерабатывается (новая публикация стандарта планируется в августе 2011 г) в связи с некоторым несоответствием его с другими публикациями серии CISPR 16-4. Это несоответствие заключается в том, что [3] указывает только MIU для определения соответствия, однако было отмечено в процессе развития стандарта, что и другие категории неопределенности кроме MIU влияют на определение соответствия в некоторой степени. Например, при стандартизованных измерениях на соответствие эмиссии может вносить значительный вклад собственная неопределенность измеряемой величины. Кроме того, существенное значение также имеет неопределенность, связанная с отбором образцов при определении соответствия ЭМС серийно выпускаемой продукции. Поэтому, в первую очередь, в новой публикации стандарта будет использоваться более конкретное название «Инструментальная неопределенность измерения».

Технический отчет CISPR/TR 16-4-3 [4] определяет требования и дает указания, основанные на статистических методах, по определению соответствия ЭМС серийно выпускаемой продукции. Эти методы должны убедить потребителей с 80% степенью уверенности, что 80% устройств существующих типов исследованы на соответствие требований по эмиссии и устойчивости. Поэтому [4] содержит конкретные требования для применения так называемого правила CISPR 80% /80% при испытаниях на эмиссию и устойчивость.

Типовые испытания серийно выпускаемой продукции могут быть выполнены либо при использовании одного образца устройства с дальнейшим периодическим испытанием для обеспечения каче-

ства, либо при использовании выборки устройств одного и того же типа.

Для второго случая осуществляется статистическая оценка соответствия предельных уровней эмиссии в соответствии с испытанием, основанном на нецентрированном t -распределении (также с использованием поддиапазонов частот) или на биномиальном распределении. Последняя публикация [4] также включает в себя новый математический подход для применения правила 80%/80% на основе метода, включающего принятый дополнительный предел, а также обоснование для этого метода.

Каждый из этих методов основан на различных статистических методиках, и поэтому каждый из методов имеет различные свойства (преимущества и недостатки) при применении на практике производителями или уполномоченными органами. Так, испытание, основанное на нецентрированном t -распределении, содержит условие нормального распределения совокупности. Пока это условие выполняется, испытание дает правильные результаты относительно утверждения выборки. Преимущество этого метода состоит в том, что выборка может быть относительно небольшой. Испытание, основанное на биномиальном распределении, не содержит никаких условий относительно распределения совокупности, однако выборка должна состоять минимум из семи образцов продукции. При испытании, включающем принятый дополнительный предел, выборка должна содержать менее семи образцов, и должно выполняться условие нормального распределения совокупности.

В оценке устойчивости устройств внимание должно быть уделено подробному описанию статистического метода, который должен применяться в схеме CISPR выборочного контроля. В [4] были стандартизированы два метода: с использованием биномиального распределения (выборка по качественным признакам) и с использованием нецентрированного t -распределения (выборка по количественным признакам). Метод биномиального распределения должен быть использован в испытаниях на устойчивость, в которых уровень устойчивости невозможно определить, т.е. возможно только провести испытание на соответствие или несоответствие заданному уровню устойчивости. Метод нецентрированного t -распределения подходит для испытания устойчивости, в котором могут быть определены уровень устойчивости или уровень сигнала, который является мерой ухудшения устойчивости. Последний уровень должен быть выражен в логарифмических единицах перед применением метода нецентрированного t -распределения.

Критерий соответствия серийно выпускаемой продукции состоит из двух частей: одна заключается в требовании правила 80%/80%, а другая – инст-

рументальной неопределенности измерения, как указано в [3]. Поэтому результат испытания 80%/80% указывает на соответствие с пределом до тех пор, пока выполняется требование [3] (U_{Lab} должно быть меньше или равно U_{CISPR}). В тех случаях, когда U_{Lab} больше, чем U_{CISPR} , результаты измерений, которые используются для правила 80%/80%, должны быть увеличены на величину $\Delta = [U_{Lab} - U_{CISPR}] U_{CISPR} < U_{Lab}$.

До сих пор точно не определено, как должны объединяться (порядок старшинства) критерий соответствия правила 80%/80%, приведенного в CISPR/TR 16-4-3, и MIU критерий соответствия (CISPR 16-4-2) в случае, когда оба критерия применимы. Сочетание этих двух критериев соответствия является предметом дальнейших исследований в CISPR / A.

Следует отметить, что правило 80%/80% защищает потребителя от несоответствующих устройств, но оно почти ничего не говорит о вероятности того, что партия устройств, из которых был взят образец, будет принята. Эта доверительная вероятность очень важна для производителя. В связи с этим, в приложении [4], дана более подробная информация о доверительной вероятности (риск производителя).

Выводы

1. CISPR/TR 16-4-1 можно рассматривать как руководство, которое может быть использовано разработчиками стандартов для учета и согласования неопределенности в стандартах CISPR, а также регулирующими органами, органами по аккредитации и инженерами-испытателями для оценки качества работы испытательной лаборатории по ЭМС, проводящей стандартизированные испытания на соответствие CISPR. Соображения относительно неопределенности, приведенные в этом отчете, также могут быть использованы в качестве руководства при сличении результатов испытаний (и их неопределенности), полученных с использованием различных альтернативных методов испытаний.

2. Анализ CISPR/TR 16-4-1 выявил следующие особенности оценивания неопределенности: в стандартизованных испытаниях на соответствие эмиссии предлагается в качестве оценки общей неопределенности приводить SCU, включающую собственную неопределенность измеряемой величины и MIU; важным этапом оценивания неопределенности является определение основных целей оценивания, а, как следствие, типа анализа неопределенностей и учета их в критерии соответствия; составляющими неопределенности измерений при испытаниях продукции на эмиссию являются неопределенность,

связанная с отбором образцов из общей партии продукции, а также неопределенности, обусловленные стандартом испытания; все установленные и неустановленные влияющие величины должны быть включены в бюджет неопределенности; для упрощения выявления всех возможных источников неопределенности и во избежание двойного учета источников предлагается использовать причинно-следственную диаграмму; CISPR/TR 16-4-1 допускает в качестве оценки общей неопределенности помимо суммирования дисперсий приводит суммарную неопределенность, рассчитанную в виде полного дифференциала.

2. Стандарт CISPR 16-4-2 предназначен для применения при оценивании неопределенности измерений в области ЭМС и устанавливает способы учета неопределенности измерений при оценке соответствия технических средств нормам промышленных радиопомех, установленных CISPR. Аутентичный перевод этого стандарта (единственный из всех документов CISPR 16-4) принят в России в качестве национального стандарта ГОСТ Р 51318.16.4.2 : 2006 [8]. В Украине же на сегодняшний день отсутствуют нормативные документы по оцениванию неопределенности в области ЭМС. В связи с необходимостью до 2012 гармонизировать свою нормативную базу в области ЭМС с европейской на 100% вероятно, что принятие соответствующих стандартов будет осуществляться «методом обложки».

3. CISPR/TR 16-4-3 содержит конкретные требования для применения так называемого правила CISPR 80% /80% при испытаниях на эмиссию и устойчивость, выполнение которого указывает на соответствие с пределом до тех пор, пока справедливо требование $U_{\text{Lab}} \leq U_{\text{CISPR}}$.

Список литературы

1. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data. – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).
2. CISPR/TR 16-4-1:2009 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainties in standardized EMC tests. – Geneva, IEC, 2009. – 117 p.
3. CISPR 16-4-2:2003 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainty in EMC measurements. – Geneva, IEC, 2003. – 43 p.
4. CISPR/TR 16-4-3:2007 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-3: Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistical considerations in the determination of EMC compliance of mass-produced products. – Geneva, IEC, 2007. – 36 p.
5. CISPR/TR 16-4-4:2007 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services. – Geneva, IEC, 2003. – 61 p.
6. CISPR/TR 16-4-5:2006 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-5: Uncertainties, statistics and limit modelling – Conditions for the use of alternative test methods. – Geneva, IEC, 2003. – 49 p.
7. Захаров И.П. Особенности оценивания неопределенности измерения при выражении входных величин в децибелах / И.П. Захаров, Н.С. Шевченко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 5 (79). – С. 29-32.
8. ГОСТ Р 51318.16.4.2-2006 Совместимость технических средств электромагнитная. Неопределенность измерений в области электромагнитной совместимости (CISPR 16-4-2:2003). – М.: Стандартинформ, 2007. – 20 с.

Поступила в редколлегию 29.12.2010

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

ОСОБЛИВОСТІ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ОБЛАСТІ ЕМС У ДОКУМЕНТАХ CISPR 16-4

І.П. Захаров, Н.С. Шевченко

Наведені особливості оцінювання невизначеності в області електромагнітної сумісності, виділені на основі аналізу серії нормативних документів, підготовлених Міжнародним спеціальним комітетом з радіоперешкод. Відмічені основні моменти, що визначають специфіку оцінювання невизначеності при проведенні стандартизованих випробувань на відповідність емісії і стійкості, а також при випробуваннях на відповідність ЕМС продукції, що випускається серійно.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, вимірювання емісії, випробування на відповідність стійкості, стандартна невизначеність відповідності, інструментальна невизначеність вимірювання.

PECULIARITIES OF APPROACHES TO THE UNCERTAINTY EVALUATION IN THE FIELD OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN DOCUMENTS CISPR 16-4

I.P. Zakharov, N.S. Shevchenko

Peculiarities of the uncertainty evaluation in the field of electromagnetic compatibility marked out on basis of the analysis of series of the normative documents prepared by the International special committee on radio interference are given. The basic aspects defining specificity of the uncertainty evaluation at carrying out of standardized tests for emission and immunity compliance and also at EMC compliance tests of mass-produced products are noted.

Keywords: electromagnetic compatibility, emission measurement, immunity compliance test, standards compliance uncertainty, measurement instrumentation uncertainty.