

УДК 621.31.048

В.В. Князев, Г.Ю. Сафнюк, Ю.Н. Гирка

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния»  
Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»,  
Харьков, Украина

## ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ АТТЕСТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Кратко рассмотрена методика проведения измерений при аттестации измерительной площадки для испытаний на ЭМС, представлено модельное уравнение измерения, которое является необходимым условием составления бюджета неопределенности. Реализована методика оценки неопределенности результатов аттестации. Определены составляющие бюджета неопределенности результатов при аттестации открытой измерительной площадки. Оценено значение расширенной неопределенности результатов, полученных при аттестации*

**Ключевые слова:** открытая измерительная площадка, аттестация, поляризация, неопределенность измерений, эмиссия, электромагнитная совместимость.

### Введение

**Постановка проблемы.** Требования электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств (ТС) сегодня являются обязательными во всех экономически развитых странах. В Украине, также, эти требования действуют, хотя и в меньшем объеме, чем, например, в Европейском Союзе. Требования ЭМС рассматриваются в двух аспектах: первый – уровень электромагнитных помех, которые создает ТС при своей работе; второй – уровень устойчивости ТС к электромагнитным помехам, которые могут возникать в месте эксплуатации ТС. Подтверждение соответствия ТС, предъявляемым к нему требованиям по параметрам ЭМС, должно быть проведено компетентным органом – испытательной лабораторией [1, 2].

Для конкурирования на международном рынке испытательные лаборатории должны не только пользоваться гармонизированными стандартами, аттестованным оборудованием и СИТ, а, также, представлять результаты испытаний в требуемом виде, т.е. с предъявлением оценки неопределенности испытаний. Для этого в Украине активно внедряются методики по расчету неопределенности [3 – 5]. Так как существует большое количество разнообразных и специфических видов испытаний и измерений необходимо общие подходы к оценке неопределенности детализировать применительно к особенностям этих измерений с учетом конкретного используемого оборудования [6 – 10].

Испытания по параметрам эмиссии от ТС включают в себя измерение уровня напряжения помех на портах электропитания общего пользования и уровня электрического поля, на заданном расстоянии от ТС. Измерения проводятся в заданных частотных диапазонах. Для оценки неопределенности могут быть ис-

пользованы известные методы, изложенные, например, в работе [8]. Но для, казалось бы, достаточно простой процедуры при измерении уровня эмиссии от ИО важно учесть все составляющие неопределенности, а так же объективно их оценить. Кроме этого, необходимо аттестовать место для проведения такого рода испытаний (открытая измерительная площадка (ОИП)), которое может оказать существенное влияние на результаты испытаний.

Сравнительно небольшой период времени, когда в Украине используются понятия и методы расчетов «неопределенности результатов измерений», «неопределенности методов измерений». Поэтому, рассмотрение применимости метода на конкретном примере является актуальной задачей. В статье рассматривается оценка неопределенности при аттестации ОИП для испытаний на ЭМС.

**Цель статьи:** определить составляющие бюджета неопределенности результатов при аттестации ОИП. Оценить значение расширенной неопределенности результатов, полученных при аттестации конкретной ОИП.

### Методика проведения аттестации

Измерения напряжённости поля промышленных радиопомех (ИРП) в полосе частот от 30 МГц до 1 ГГц проводятся на открытых измерительных площадках, удовлетворяющих требованиям к затуханию, установленным в [7].

В большом высоковольтном зале НИПКИ «Молния» построена открытая измерительная площадка. Проводящая поверхность площадки с размерами 4×6,5 м выполнена из листового алюминия, установлена на изоляторы высотой 1 м, величина неровностей площадки не превышает 0,15λ во всем частотном диапазоне. Приёмная антенна монтирует-

ся на изоляционной мачте, которая обеспечивает плавный подъём антенны от 1 до 4 м. Передающая антенна устанавливается на высоте 1 м при горизонтальной поляризации, и на высоте 1,25 м при вертикальной поляризации. Измерительное расстояние равно 3 м.

Все участки антенных кабелей ортогональны продольным осям элементов антенн, а расстояние между задней кромкой антенны и вертикальным снижением кабеля составляет 1 м.

В качестве приёмной и передающей антенн использовались дипольные широкополосные антенны DP1 и DP3 с диапазоном частот, соответственно, 26 МГц – 250 МГц и 250 МГц – 1000 МГц.

Согласно [4], ОИП аттестуют путем измерений затухания электромагнитного поля при горизонтальной и вертикальной поляризации в полосе частот от 30 МГц до 1000 МГц. ОИП считается приемлемой, если результаты измерений затухания площадки при горизонтальной и вертикальной поляризации находятся в пределах  $\pm 4$  дБ от теоретических величин затухания идеальной площадки, которые представлены в [4]. На рис. 1 представлена схема измерения затухания площадки при вертикальной поляризации. Методика проведения испытаний заключается в следующем:

1) генератор сигналов подключается к передающей антенне штатным кабелем;

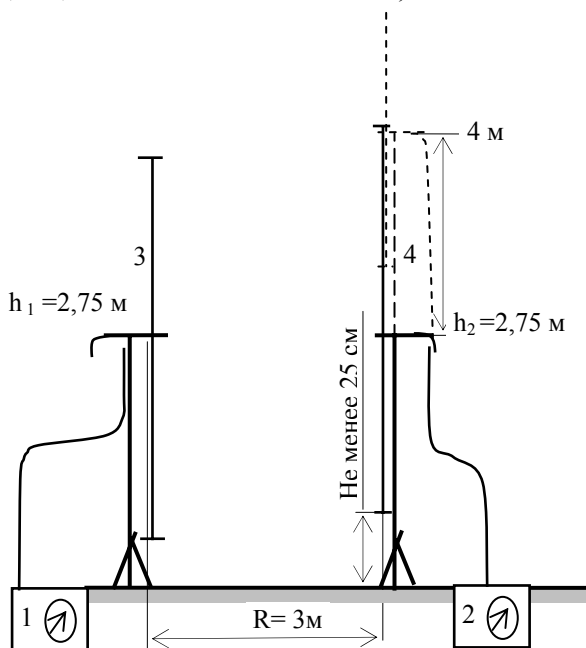


Рис. 1. Схема измерения затухания площадки при вертикальной поляризации:

1 – генератор сигналов; 2 – измерительный приемник – селективный микровольтметр SMV-8,5; 3 – передающая антенна; 4 – приемная антенна (*примечание 1:* в процессе измерений уровень сигнала на выходе генератора сигналов поддерживают постоянным)

2) передающую антенну располагают на высоте  $h_1 = 1$  м или 1,25 м (для измерительного расстояния

$R = 3$  м) и выбирают соответствующую поляризацию. На рис. 2 представлена фотография рабочего места при проверке затухания ОИП при использовании антенн DP-1 (вертикальная поляризация);

3) на частоте измерений 30 МГц (генератор Г4-107, который изображен на рис. 3 (справа)) при подсоединенных к антеннам штатных кабелей подстраивают выходной уровень генератора сигналов так, чтобы получить устойчивый отсчет на измерительном приемнике, не искаженный внешними помехами и его собственными шумами;



Рис. 2. Рабочее место при проведении проверки затухания ОИП с антеннами DP-1 (вертикальная поляризация)



Рис. 3. Оборудование для аттестации ОИП.

4) изменяют высоту установки приемной антенны в пределах от 1 м до 4 м;

5) фиксируют максимальное показание измерительного приемника  $U_{R1}$ ;

6) отключают кабели от приемной и передающей антенн и соединяют их между собой с помощью коаксиального перехода;

7) фиксируют показания измерительного приемника  $U_{R2}$ ;

8) затухание площадки  $A$ , вычисляют по формуле

$$A_3 = U_{R2} - U_{R1} - K_{пер} - K_{пр}, \quad (1)$$

где  $K_{пер}$  и  $K_{пр}$  – коэффициенты калибровки соответственно передающей и приемной антенн, дБ;

9) операции измерений по пунктам 1 – 6 повторяют до частоты 250 МГц в соответствии с частотами по табл. 2 [4] при горизонтальной и вертикальной поляризации;

10) антенны DP-1 заменяют на антенны DP-3, а генератор Г4-107 – на генератор Г4-129;

11) операции измерений по пунктам 1 – 8 повторяют на частотах 250 МГц÷ 1000 МГц в соответствии с частотами при горизонтальной и вертикальной поляризации.

В качестве примера, результаты измерения затухания ОИП и их сравнение с требованиями по затуханию для идеальной ОИП, в соответствии со значениями для идеальной площадки по [7] для антенн DP-1 (вертикальная поляризация), приведены в табл. 1.

### Методика оценки неопределенности

Для учета всех составляющих неопределенности необходимо составить бюджет неопределенности, опираясь на расчетные данные и профессиональный опыт. В [8 – 10] приведены примеры бюджетов неопределенности для разных вари-

антов измерений. На основании этих примеров, с учетом результатов аттестации используемых СИТ и практического опыта сотрудников НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» составлен бюджет неопределенности при измерении уровня эмиссии, который представлен в табл. 2.

Таблица 1

Значения, полученные при аттестации ОИП

Частота, МГц	Вертикальная поляризация		
	Затухание идеальной площадки $A_{п}$ , дБ	Измеренное значение $A_3$ , дБ	Заключение о соответствии ОИП требованиям НД
1	2	3	4
30,0	8,2	9	соответствует
35	6,9	4	соответствует
40	5,8	4	соответствует
45	4,9	5,4	соответствует
50	4,0	6	соответствует
60	2,6	5	соответствует
70	1,5	5	соответствует
80	0,6	3	соответствует
90	-0,1	3	соответствует
100	-0,7	2	соответствует
120	-1,5	-2,6	соответствует
140	-1,8	-4	соответствует
160	-1,7	-4	соответствует
180	-1,3	-5	соответствует
200	-3,6	-8	соответствует
250	-7,7	-9	соответствует

Таблица 2

Оценка значения расширенной неопределенности при измерении уровня эмиссии на частотах от 30 МГц до 250 МГц на расстоянии 3 м (при вертикальной поляризации)

Источник неопределенности	Значение неопределенности (+/- дБ)	Распределение вероятностей	Делитель	Стандартная неопределенность, дБ
<b>Влияние установки антенн</b>				
Класс точности инструмента, с помощью которого измеряют расстояние	0,2	прямоугольное	1,73	0,12
Высота расположения антенны над землей (передающей)	0,2	прямоугольное	1,73	0,12
Высота расположения антенны над землей (принимающей)	0,2	прямоугольное	1,73	0,12
<b>Процедура измерения</b>				
Параметры настройки приемника	0,4	прямоугольное	1,73	0,23
Стабильность U выхода генератора	0,1	прямоугольное	1,73	0,06
<b>Влияние окружающей среды</b>				
Температура и влажность	0,1	прямоугольное	1,73	0,06
Изменение питающего напряжения	0,1	прямоугольное	1,73	0,06
<b>Влияние измерительного оборудования</b>				
Погрешность измерителя радиопомех SMV 8,5 с антенной DP-1	1,5	прямоугольное	1,73	0,87
Погрешность калибровки антенны DP-1 (передающей)	0	прямоугольное	1,73	0,00
Люфт мачты	0,1	прямоугольное	1,73	0,06
Погрешность поляризации	1,0	прямоугольное	1,73	0,58
Прокладка антенных кабелей	0,2	прямоугольное	1,73	0,12
Погрешность считывания показаний	0,1	прямоугольное	1,73	0,06
Отношение сигнала к шуму измерительной системы	0,1	нормальное	2,00	0,06
Зависимость антенного фактора от частоты	0,2	прямоугольное	1,73	0,12
Комбинированная стандартная неопределенность (u)				1,11
<b>Расширенная неопределенность (U)</b>		прямоугольное	1,73	<b>1,92</b>

Из табл. 2 видно, что расширенная неопределенность составляет 1,92 дБ. Можно предположить, что результаты, полученные при аттестации ОИЗ должны находиться внутри более узкого диапазона отклонения от значений для идеальной площадки. Следовательно, разрешенный диапазон отклонения составляет  $\pm 2,18$  дБ. Однако, в нормативном документе [7], нет прямого указания на значение доверительного интервала, поэтому некоторые специалисты считают такой подход неоправданно жестким. Анализ данных таблицы 1, с учетом полученного значения расширенной неопределенности, позволяет сделать вывод о степени соответствия аттестуемой ОИП требованиям, приведенных в [7]. Конечно, в данном случае важную роль играет профессионализм персонала, который производит измерения. Ведь некоторые значения составляющих бюджета определяются экспертно, поскольку их экспериментальное определение весьма трудоемко. Работу по уточнению значений составляющих рассмотренного бюджета неопределенности необходимо продолжить.

### Выводы

1. Определены составляющие бюджета неопределенности при аттестации ОИП по методу, регламентированному СИСПР-16-1.
2. Предложена уточненная методика оценки неопределенности с учетом реального оборудования, СИТ и квалификации персонала испытательной лаборатории.
3. Получено значение расширенной неопределенности результатов аттестации открытой измерительной площадки для испытаний на ЭМС.
4. Результаты могут быть использованы испытательными лабораториями ЭМС для унификации процедуры сличения.

### ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРИ АТЕСТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

Князев В.В., Сафнюк Г.Ю., Гирка Ю.М.

*В статті визначено підхід до оцінки невизначеності результатів атестації відкритої вимірювальної площадки для проведення випробувань з ЕМС. Підхід базується на рекомендаціях стандарту CISPR 16-4-1. Наведено приклад оцінки невизначеності результатів випробувань у конкретній випробувальній лабораторії. Визначені складові бюджету невизначеності результатів при атестації відкритого вимірювального майданчика. Оцінено значення розширеної невизначеності результатів, отриманих при атестації*

**Ключові слова:** відкрита вимірювальна площадка, атестація, поляризація, невизначеність вимірювань емісія, електромагнітна сумісність.

### ESTIMATED UNCERTAINTY RESULT AT QUALIFICATIONS OF THE MEASURING PLATFORM FOR TEST ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

Kniaziev V.V., Safnyuk G.Yu., Gyrka Yu.N.

*In the article, going near the estimation of the uncertainties results of attestation measuring outside court is described during testing on EMS. Approach is based on recommendations of standard CISPR 16-4-1. The example of estimation of the uncertainties results of tests is resulted in a concrete tester laboratory. The constituents of budget of vagueness of results are certain during attestation measuring outside court. The value of the extended vagueness of results, got during attestation is appraised*

**Keywords:** measuring outside, attestation, polarization, uncertainties of measurements, emission, electromagnetic compatibility court.

### Список литературы

1. 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.
2. Технічний регламент України з підтвердження відповідності електромагнітної сумісності.
3. РМГ 43-2001. ГСОЕИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
4. Руководство по выражению неопределенности измерения. ГП «Всероссийский НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева». – С.-Пб., 1999. – 134 с.
5. Захаров И.П., Кужуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях: Учеб. Пособие. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.
6. Князев В.В., Лесной И.П. Оценка неопределенности результатов испытаний технических средств по параметрам ЭМС // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2007. – Вип. 6 (64). – С. 44-46.
7. CISPR 16-1 Second edition 1999. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus.
8. CISPR 16-4-1:2003, Amendment 2, 2007. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainties in standardized EMC tests.
9. UKAS., LAB 34. The Expression of Uncertainty in EMC Testing. Ed.1, 2002.
10. UKAS.,M3003. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement. Ed.2,20.

Поступила в редколлегию 1.04.2008

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