

УДК 621.316.97

В.В. Князев, И.П. Лесной

*НИПКИ «Молния» Национального технического университета «ХПИ», Харьков*

## ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭМС

*В статье описан подход к оценке неопределенности результатов испытаний устойчивости технического средства к действию электростатического разряда. Подход базируется на рекомендациях МЭК, изложенных в проекте второй редакции стандарта IEC 61000-4-2. Приведена оценка неопределенности результатов испытаний в конкретной испытательной лаборатории.*

**электромагнитная совместимость, техническое средство, испытание, устойчивость, электростатический разряд, неопределенность**

### Введение

**Актуальность темы.** 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. Национальная аккредитация испытательных лабораторий осуществляется путем подтверждения их соответствия требованиям стандарта ДСТУ ISO/IEC 17025 [1]. Указанный стандарт регламентирует (п. 5.4.6), обязательность применения процедуры оценки неопределенности измерений, проводимых испытательной лабораторией. Это позволяет осуществлять сличения результатов испытаний, проведенных различными лабораториями.

Оценка неопределенности результатов испытаний в рамках первого аспекта ЭМС не представляет принципиальных трудностей, поскольку процедура испытаний исчерпывается измерением уровня напряжения помех на портах электропитания общего пользования и уровня электрического поля, на заданном расстоянии от ТС. Измерения проводятся в заданных частотных диапазонах. Поэтому, для оценки неопределенности могут быть использованы известные методы, изложенные, например, в работе [2]. Однако следует отметить, что в проблеме ЭМС, это аспект занимает незначительную часть.

Испытания устойчивости ТС к действию сторонних электромагнитных помех включают широкую гамму видов испытаний, что обуславливается

разнообразием электромагнитных явлений (гармонических и импульсных), широким спектром амплитудно-частотных и временных параметров. 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. Устойчивость ТС характеризуется четырьмя критериями устойчивости:

А. Нормальное функционирование в соответствии с установленными требованиями.

В. Временное ухудшение качества функционирования или прекращение выполнения установленной функции, с последующим восстановлением нормального функционирования, осуществляемым без вмешательства оператора.

С. Временное ухудшение качества функционирования или прекращение выполнения установленной функции, которые требуют вмешательства оператора или перезапуска системы.

Д. Ухудшение качества функционирования или прекращение выполнения установленной функции, которые не подлежат восстановлению из-за повреждения оборудования (компонентов), нарушения программного обеспечения или потери данных.

Осознавая указанную выше трудность, МЭК предпринимает усилия для подготовки рекомендаций, которые позволят осуществлять согласованную процедуру оценки неопределенности испытаний устойчивости ТС. Целью данной статьи является рассмотрение примера такой рекомендации, обсуждение возможных недостатков и попытка применения этой рекомендации к конкретному виду испытаний устойчивости ТС.

## Методика проведення испытаний

Методика проведения испытаний устойчивости ТС к действию электромагнитной помехи, как правило, регламентируется соответствующим стандартом, в котором указаны следующие основные требования:

- а) амплитудно-временные параметры электромагнитной помехи и допустимая погрешность их воспроизведения (требования к генератору помехи);
- б) методика подачи помехи на порты ТС и при необходимости требования к вспомогательным устройствам;
- в) схема организации рабочего места для проведения испытаний;
- г) требования к условиям окружающей среды в испытательной лаборатории.

Критерий устойчивости ТС определяется в соответствии с методикой оценки работоспособности ТС, которая, разрабатывается изготовителем ТС и утверждается органом по оценке соответствия.

Все указанное выше вносит вклад в значение неопределенности результата испытаний. Следует отметить, что применительно к испытаниям устойчивости аппарат неопределенности является более органичным, чем погрешности. Действительно, оценка интервалов значений предъявляемых требований, внутри которых с заданной вероятностью (0,95) находятся истинные значения, лучше отражает физику процессов.

Типовые методы оценки неопределенности могут быть применены к измерению амплитудно-временных параметров выходного напряжения (тока, электрического или магнитного поля). На практике реализовываются два варианта, не отличающиеся по сути с точки зрения рассматриваемой проблемы: а) измерение выходных параметров при аттестации генератора, и б) измерение выходных параметров аттестованным (поверенным) средством измерения непосредственно в процессе проведения испытаний. Следует учитывать, что при оценке неопределенности выходных параметров генератора не идет речь о степени соответствия моделируемого процесса – процессу, который может протекать в естественных условиях.

Важно, также, учитывать, что влияние помехи на испытываемое ТС априори неизвестно, а ТС, как правило, имеет нелинейную реакцию на каждый параметр воздействующей помехи. Поэтому, не корректно говорить об «общей неопределенности». Каждый из параметров помехи соотносится со своей специфической неопределенностью.

Среди многообразия видов помех есть такие, которые воздействуют практически на все ТС, независимо от области их применения. К числу таких помех относится электростатический разряд (ЭСР).

В настоящее время, требования к генератору ЭСР, методика его аттестации и методика проведения испытаний устойчивости ТС к действию ЭСР регламентируются международным стандартом IEC 61000-4-2:1999 [3]. Подготовлена вторая редакция этого стандарта [4], которая содержит рекомендации по оценке неопределенности результатов испытаний устойчивости ТС к действию ЭСР. Поэтому, в качестве примера рассмотрим именно этот вид испытаний. Процедура испытаний заключается в осуществлении контактного (предпочтительно) или воздушного разряда в заданную точку ТС. Наконечник генератора ЭСР устанавливается перпендикулярно к поверхности, на которую производится разряд. Напряжение разряда устанавливается в соответствии с группой жесткости испытаний в диапазоне от 2 кВ до 8 кВ. Форма возникающего при этом тока регламентируется и не контролируется, поскольку она существенно меняется от точки к точке и зависит от конструкции ТС. Поэтому, выходные параметры генератора ЭСР контролируются при его аттестации. Аттестация заключается в подтверждении того, что для каждой из четырех групп жесткости испытаний (напряжений) генератор выдает заданную двугорбую форму тока (рис. 1), имеющую быстро нарастающую фронтную часть (время нарастания  $t_n = 0,7 \text{ нс} - 1,0 \text{ нс}$ ) с заданными амплитудой первого максимума ( $I_{\text{пик}}$ ) и значениями тока при 30 нс ( $I_{30}$ ) и 60 нс ( $I_{60}$ ), зависящих от группы жесткости испытаний.

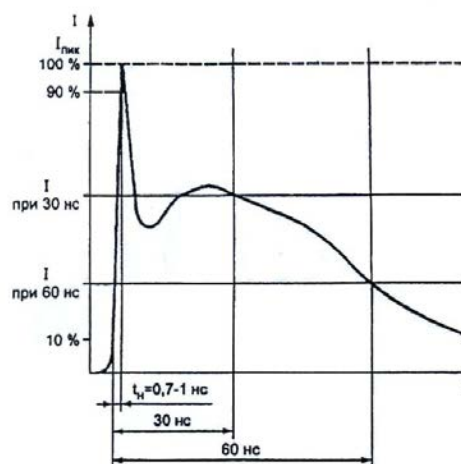


Рис. 1. Форма импульса разрядного тока

Измерения проводятся с использованием специального токового преобразователя (конструкция регламентируется стандартом [3]), установленного в стенке камеры Фарадея.

Столь детальное изложение подробностей, связанных с аттестацией генератора ЭСР и методики проведения испытаний обусловлено тем, что все это имеет прямое отношение к оценке неопределенности результатов испытаний.

## Процедура оценки неопределенности

Рассмотрим подход, предложенный в проекте второй редакции стандарта [4] (Приложение Е). В нем указано, что 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 комбинированную неопределенность  $u_c(y)$ , коэффициент запаса  $k$  и расширенную неопределенность  $U_c = u_c(y) \cdot k$ ;

6) применить расширенную неопределенность;

7) опубликовать расширенную неопределенность в квалификационных документах, если необходимо.

Для представления составляющих неопределенности используется диаграмма Исикавы («рыбий скелет»). 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 ЭСР. Рекомендуется [4] производить независимую оценку бюджетов каждой составляющей неопределенности, т.е.  $I_{\text{пик}}$ ,  $t_n$ ,  $I_{30}$ ,  $I_{60}$ .

В табл. 1 представлены результаты оценки составляющих неопределенности при аттестации ЭСР генератора. Значения, отмеченные звездочкой, взяты из свидетельств об аттестации СИТ. Таким образом, каждая из составляющих неопределенности, обусловленной генератором ЭСР, имеет значение расширенной неопределенности 2,5 дБ (8%). Неопределенности, обуславливаемые методикой подачи помехи, схемой организации рабочего места, условиями окружающей среды и личностью оператора, могут быть оценены в соответствии с рекомендациями работы [2]. Однако, многие аспекты проведения полного цикла оценки неопределенности результатов испытаний еще требуют детального изучения. Например, значение импульсного сопротивления растекания контура заземления оказывает существенное влияние на уровень устойчивости ТС, но не регламентируется ни одним из стандартов.

Таблица 1

Бюджет неопределенности аттестации ЭСР генератора

Составляющая	Распределение	Вел., (дБ)	$u_i(y)$ , (дБ)	$u_i(y)^2$ (дБ)
Калибровка осциллографа	Нормальное	1,0 *	0,5	0,25
Калибровка мишени	Нормальное	0,5 *	0,25	0,06
Калибровка пробника	Нормальное	1,2 *	0,6	0,36
Несовпадение мишень-пробник	U-образное	0,28	0,2	0,04
Несовпадение пробник - осциллограф	U-образное	0,57	0,4	0,16
Измерение амплитуды тока	Прямоугольн.	1,0	0,6	0,36
Измерение временных интервалов	Прямоугольн.	0,87	0,5	0,25
Повторяемость	Тип А	–	0,3	0,09
		сумма	1,57	
		$u_c(y)$	1,25	
	$k = 2$	$U_c$	2,5	

### Выводы

1. Предложена методика оценки неопределенности результатов испытаний устойчивости ТС к внешним воздействиям.

2. Определены составляющие неопределенности при проведении испытаний.

3. Проведена оценка неопределенности значений выходных параметров генератора ЭСР.

### Список литературы

1. DСТУ ISO/IEC 17025 – 2001. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

2. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях: Учеб. пос. – Х.: Консум, 2002 – 256 с.

3. IEC 61000-4-2:1999 (Ed. 1.1). EMC – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test.

4. IEC 61000-4-2 Ed 2.0 (Project) EMC – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test.

Поступила в редколлегию 10.05.2007

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