

УДК 621.31.048

В.В. Князєв, Ю.С. Немченко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## КОНЦЕПЦІЯ ПРОГРАМИ МІЖЛАБОРАТОРНИХ ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ В ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЗА ПАРАМЕТРАМИ НЕСПРИЙНЯТЛИВОСТІ

В статті розглянуто концепцію побудови програми міжлабораторних порівняльних випробувань несприйнятливості технічних засобів до впливу електромагнітних завад. В якості „пілотних” розглянуто випробування, які регламентуються вимогами таких стандартів: IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4 та IEC 61000-4-5. Наведено основні елементи програми та вказане необхідне обладнання. Програма пропонується до використання випробувальними лабораторіями України.

**Ключові слова:** випробування, невизначеність, електростатичний розряд, швидкі перехідні процеси, сплески напруги, несприйнятливості.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Випробування з підтвердження відповідності технічних засобів (ТЗ) вимогам Технічних регламентів України, як правило, проводять в компетентних випробувальних лабораторіях (ВЛ), вимоги до яких викладено в стандарті ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 (ISO/IEC 17025:2006, IDT). Одним із важливих аспектів, якому приділено увагу під час акредитації ВЛ на відповідність цьому стандарту, є вимога регулярної участі у міжлабораторних порівняльних випробуваннях (МПВ) з метою підтвердження якості проведення випробувань. Політика НААУ [1] та концепція НАУУ [2] враховують той факт, що існують галузі в яких перевірка якості проведення випробувань таким чином не застосовується. До такої галузі відносяться випробування несприйнятливості технічних засобів до впливу сторонніх електромагнітних завад. Це пов'язане з неможливістю застосування стандартизованих рекомендацій [3 – 7]. Особливості таких випробувань розглянуто в роботах [8, 9], в яких було сформульоване підхід щодо можливої реалізації порівняльних випробувань. Враховуючи бажання випробувальних лабораторій, які спеціалізуються в галузі ЕМС, підвищити якість випробувань шляхом реалізації порівняльних випробувань, далі викладено концепцію здійснення таких випробувань. В основу концепції покладено оцінку впливу джерел невизначеності результатів випробувань.

**Аналіз публікацій.** Існує три категорії джерел невизначеності результатів випробувань [9], які обумовлені такими чинниками: ВЛ; випробувальним стандартом і випробовуваними зразками продукції. До можливих джерел невизначеності, пов'язаних із ВЛ, віднесено такі: навички оператора, який проводить випробування; опрацювання результатів;

протоколювання; ступінь упровадження вимог стандарту в процедури випробувань, програмне забезпечення та система якості. Очевидно, що числове значення внеску цих джерел до бюджету невизначеності результатів випробувань може бути оцінене лише експертним чином. Тому цю групу джерел невизначеності пропонується оцінювати комісією з учасників порівняльних випробувань, на основі спостереження під час випробувань. Методику можливо також застосовувати під час проведення зовнішнього та внутрішнього аудитів. Отже, ця категорія джерел не розглядається в рамках даної статті.

До джерел невизначеності, пов'язаних із випробувальним стандартом, віднесено таке: характеристики випробувального обладнання, зокрема невизначеність результатів атестації та верифікації; описання процедури випробувань; навколишні умови; розміщення випробовуваного обладнання (ВО); функціонування ВО; тип ВО. Числові значення основних джерел невизначеності, пов'язаних із випробувальним і вимірювальним обладнанням, зазначено у технічній документації на обладнання та засоби вимірювання, свідоцтвах про метрологічну атестацію, калібрування і протоколах верифікації. Отже, частину зазначеної категорії джерел невизначеності, може бути враховано достатньо коректно, наприклад, як це зроблено в роботах [8, 9]. Тому, ця частина є основою запропонованої методики.

Серед джерел невизначеності, віднесених до зразків продукції, що випробовуються, найбільші труднощі в процесі аналізування внеску в невизначеність результату випробувань викликає облік стабільності якості функціонування, тому що результат випробувань, зазвичай, є якісним, а не кількісним [8, 9]. Несприйнятливості ТЗ характеризується чотирма якісними критеріями. У стандартах IEC серії 61000-4, ці критерії визначено так:

- нормальна якість функціонування в межах, установлених виробником, замовником чи покупцем;
- тимчасовий вихід з ладу чи погіршення робочих характеристик, що відновлюються після припинення збурення, і після чого випробне обладнання відновлює нормальну якість функціонування без втручання оператора;
- тимчасовий вихід з ладу чи погіршення робочих характеристик, виправлення яких потребує втручання оператора;
- вихід з ладу або погіршення робочих характеристик, які є незворотними в зв'язку з uszkodженням апаратного чи програмного забезпечення, або втратою даних. Фактично несприйнятливості ТЗ до впливу зовнішніх завад залежить від багатьох внутрішніх чинників, наприклад, ресурсу й «утоми» елементної бази. Тому, ця категорія джерел оцінюється за умовною шкалою.

**Мета статі.** Мета статті полягає у формулюванні концепції побудови програми та методики міжлабораторних порівняльних випробувань, технічних засобів на несприйнятливості до впливу електростатичних розрядів, швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів та сплесків напруги та струму, які є найбільш поширеними видами випробувань за параметрами EMC.

### Концепція методики

У якості „пілотних” видів випробувань розглядаються такі, що регламентуються стандартами [10 – 12].

Першим етапом методики є визначення вихідних параметрів випробувальних генераторів.

У роботі [9] доведено, що невизначеність результатів випробувань, за вказаними вище стандартами, яка обумовлена всіма суттєвими чинниками, не перевищує 20 %. Особливістю розглянутих видів випробувань є те, що відповідні стандарти регламентують значні допустимі відхилення на параметри імпульсів, які генеруються. Внаслідок чого дестабілізуюча дія завади в залежності від параметрів випробувального генератора може відрізнятись у понад 2 рази. Отже, у розглянутих випадках результати випробувань мають найбільший коефіцієнт чутливості до параметрів впливального чинника. Відтворюваність результатів випробувань насамперед залежить від близькості параметрів впливального чинника, що генерується у різних випробувальних лабораторіях. Тому, за результатами першого етапу встановлюється ступень відхилення вихідних параметрів конкретного генератора від еталону, тобто від тих значень, які вказано у стандарті. Встановлюється також ступень його дестабілізуючої дії.

Другим етапом методики є оцінка невизначеності отриманих результатів досліджень параметрів генераторів. Методика визначення та оцінки складо-

вих бюджету невизначеності застосовується аналогічно до прикладів, наведених у роботі [9] та нових редакціях стандартів ІЕС [13 – 16].

Лабораторії, які приймають участь в порівняльних випробуваннях, надають свої випробувальні генератори до координатора програми, який забезпечує дослідження вихідних параметрів генераторів у відповідності до процедур верифікації, які регламентуються відповідними стандартами, та за методиками, які узгоджені Держспоживстандартом України. В якості координатора МПВ з EMC пропонується Випробувальна лабораторія Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (атестат акредитації 2Н484). Під час досліджень представники ВЛ учасника мають право бути присутніми, та спостерігати за результатами, що отримуються.

### Обладнання для реалізації МПВ

Перелік генераторів для перевірки таких:

- генератор електростатичних розрядів (Г-ЕСР) за стандартом ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 [10];
- генератор швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів за ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 [11];
- комбінований генератор сплесків напруги та струму (Г-МІЗ) форми 1/50 мкс – 6,4/16 мкс, за стандартом ДСТУ ІЕС 61000-4-5:2008 [12].

Координатор МПВ надає таке випробувальне обладнання:

- генератор електростатичних розрядів фірми DITO зав. № v1018106457 (Швейцарія), який зображено на рис. 1;



Рис. 1. Загальний вид генератора електростатичних розрядів фірми DITO

- генератор швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів UCS 500N5 зав. № U1223112754 (Швейцарія), який зображено на рис. 2;

- комбінований генератор сплесків напруги та струму форми 1/50 мкс – 6,4/16 мкс (мікросекундних імпульсних завад) Г-МИП-6 (зав. № 03) (Україна), який представлено на рис. 3.



Рис. 2. Загальний вид генератора швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів UCS 500N5

Для визначення вихідних параметрів генераторів Координатор використовує комплект засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), складові якого представлено в табл. 1.



Рис. 3. Загальний вид комбінованого генератора мікросекундних імпульсних завод Г-МИП-6

Усе вимірювальне обладнання на момент проведення МПВ має бути відкаліброване (повірене). Зразки ЗВТ які є унікальними для українських ВЛ представлено на рис. 4 – 7.

Таблиця 1

Метрологічне обладнання для МПВ

Найменування ЗВТ	Метрологічні характеристики
Осцилограф цифровий чотирьохканальний запам'ятовуючий ТЕКТРОНІХ DPO 4104 (рисунок 4)	N = 4 канали $\Delta f = 1000$ МГц $U_{max} =$ от 10 мВ до 40 В $\Theta_a = 1,2 \%$ ; $\Theta_{\text{ч}} = 1,0 \%$
Осцилограф цифровий чотирьох канальний запам'ятовуючий ТЕКТРОНІХ TDS 2024B	N = 4 канали $\Delta f = 200$ МГц $U_{max} =$ от 10 мВ до 40 В $\Theta_a = 1,4 \%$ ; $\Theta_{\text{ч}} = 1,0 \%$
Струмочутливий датчик СД-ЕСР (рисунок 5)	Конструкція та метрологічні характеристики згідно п. В1 ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008
Вимірювач напруги для генераторів НІЗ, KW50	$K_d = 1:100$ $\Delta f = 400$ МГц
Вимірювач напруги для генераторів НІЗ, KW1000	$K_d = 1:500$ $\Delta f = 400$ МГц
Пробник напруги , ТЕКТРОНІХ P5100 100X	$K_d = 1:100$ $\Delta f = 250$ МГц
Щуп високовольний , ТЕКТРОНІХ P6015A	$K_d = 1:1000$ $\Delta f = 75$ МГц
Струмовимірювальні кліщі FLUKE i3000s	$I_{max} =$ от 3 А до 3000 А $\Delta f = 100$ кГц; $\Theta = 3 \%$
Шунт вимірювальний коаксіальний ШК-50 (рисунок 6)	$I_{max} =$ от 10 А до 20 кА $R = 0,0236$ Ом $\Delta f = 200$ МГц $\Theta_a = 1 \%$
Вимірювач температури, вологості та тиску АМІ 300/МНТР (рисунок 7)	Температури від мінус $20^{\circ}\text{C}$ до плюс $80^{\circ}\text{C}$ ; Тиску від 800 гПа до 1100 гПа; Вологості від 5 % до 95 %.

За результатами визначення вихідних параметрів генераторів кожний зразок ідентифікується коефіцієнтом дестабілізуючої дії. Для процесів, які розглядаються, пропонується цей коефіцієнт ( $K_d$ ) розраховувати за формулою:  $K_d = (P_r - P_c) / P_c$ , де  $P_c$  – максимальне значення похідної на фронті імпульсу напруги (струму) для стандартизованого імпульсу;  $P_r$  – відповідна похідна для генератору, який досліджується.



Рис. 4. Осцилограф ТЕКТРОНИХ DPO 4104 для вимірювання імпульсів вихідних струмів ЕСП та МІЗ, та імпульсів вихідної напруги НІЗ та МІЗ

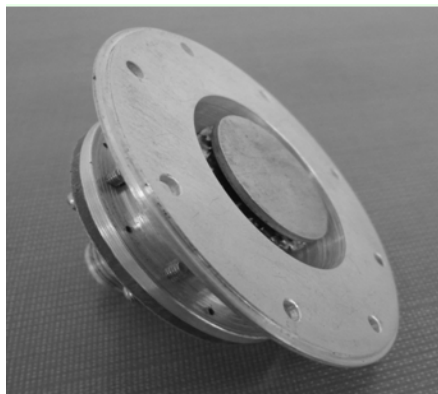


Рис. 5. Струмочутливий датчик СД-ЕСР для вимірювання імпульсів вихідних струмів Г-ЕСР



Рис. 6. Шунт вимірювальний коаксіальний ШК-50 для вимірювання імпульсів вихідних струмів генераторів Г-МІЗ

Таким чином, на етапі 3, який пов'язаний з порівнянням результатів випробувань несприйнятливості до дії завади обраного зразку обладнання (одного, або декілька однакових зразків), має бути враховане визначений коефіцієнт дестабілізуючої дії  $K_d$ .

Врахування полягає у тому, що розташування результатів випробувань на шкалі якості функціонування може бути у сусідніх секторах.

Але, важливо, якщо порівняльні результати знаходяться у різних секторах, щоб результати випробувань за використання генератору з негативним коефіцієнтом дестабілізуючої дії знаходились на шкалі ліворуч від результатів випробувань за використання генератору з позитивним коефіцієнтом дестабілізуючої дії. Якщо це не так, то слід шукати причини невідповідності.



Рис. 7. Вимірювач температури, вологості та тиску „АМІ 300/МНТР”

## Висновки

Сформульовано концепцію побудови програми та методики міжлабораторних порівняльних випробувань технічних засобів на несприйнятливості до впливу електростатичних розрядів, швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів та сплесків напруги та струму, які є найбільш поширеними видами випробувань за параметрами ЕМС.

Запропоновано введення коефіцієнту дестабілізуючої дії  $K_d$ , який ідентифікує вихідні параметри генератору відносно стандартизованих значень. В залежності від виду електромагнітної завади визначення коефіцієнту  $K_d$  встановлюється за формулою, яку приймає нарада учасників МПВ. Для імпульсних процесів, які розглядаються, запропоновано визначення коефіцієнту через значення похідної на фронті імпульсу.

Цю концепцію покладено в основу розробленої Програми та методики проведення міжлабораторних порівняльних випробувань ПМ МПВ ЕМС:2013, яку запропоновано до розгляду Технічному комітету НААУ.

Концепція може бути застосовано для інших видів випробувань несприйнятливості ТЗ до впливу електромагнітних завад.

## Список літератури

1. Політика НААУ щодо участі ВЛ у програмах МПР. ЗД-08.01.03 (ред. 03 від 07.12.2010.)
2. НААУ. Концепція оцінювання компетентності випробувальних лабораторій на основі результатів участі

в міжлабораторних порівняльних випробуваннях. ЗД-08.01.21 (ред.01 від 17.10.2011).

3. ГОСТ ИСО/МЭК 43-1:2004 Проверка лабораторий на качество проведения испытаний посредством межлабораторных сличений. Часть 1. Разработка и реализация программ проверки на качество проведения испытаний.

4. ГОСТ ИСО/МЭК 43-2:2004 Проверка лабораторий на качество проведения испытаний посредством межлабораторных сличений. Часть 2. Выбор и применение органами по аккредитации лабораторий программ проверок на качество проведения испытаний.

5. Р 50.4.006-2002 Рекомендации по аккредитации. Межлабораторные сравнительные испытания при аккредитации и инспекционном контроле испытательных лабораторий. Методика и порядок проведения. Госстандарт России. Электронный ресурс. – Режим доступа до ресурсу: [www.OpenGost.ru](http://www.OpenGost.ru).

6. Методика проведения межлабораторных сравнительных испытаний для проверки компетентности испытательных лабораторий электромагнитной совместимости. НИЦ «САМТЭС». – М., 2007.

7. Методичні рекомендації з організації та проведення програм між лабораторних порівнянь результатів. Проект НААУ. – К., 2005.

8. Князев В.В. Оценка неопределенности результатов испытаний технических средств по параметрам ЭМС / В.В. Князев, И.П. Лесной // Системы обработки информации. Вып. 6 (64): Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні, прикладні та методичні аспекти. – Х., 2007. – С. 44-46.

9. Князев В.В. Электромагнитна сумісність і нормативне забезпечення відтворюваності випробувань / В.В. Князев // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2011. – №4. – С. 27-30.

10. ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 ЕМС. Частина 4-2. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до електростатичних розрядів (ІЕС 61000-4-2:2001, ІДТ).

11. ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 Электромагнитна сумісність. Частина 4-4. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до електричних швидких перехідних процесів / пакету імпульсів. (ІЕС 61000-4-4:2004, ІДТ).

12. ДСТУ ІЕС 61000-4-5 ДСТУ ІЕС 61000-4-5:2008 Электромагнитна сумісність. Частина 4-5. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до сплесків напруги та струму (ІЕС 61000-4-5:2005, ІДТ).

13. IEC/TR 61000-1-6:2012 Electromagnetic compatibility. Part 1-6 General – Guide to assessment of measurement uncertainty.

14. IEC 61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-2: Testing and measurement techniques — Electrostatic discharge immunity test.

15. IEC 61000-4-4:2012 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test.

16. IEC 61000-4-5 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-5: Testing and measurement techniques — Surge immunity test (Project).

Надійшла до редколегії 7.02.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Руженцев, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММЫ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПО ПАРАМЕТРАМ УСТОЙЧИВОСТИ

В.В. Князев, Ю.С. Немченко

В статье рассмотрена концепция построения программы межлабораторных сравнительных испытаний устойчивости технических средств к сторонним электромагнитным воздействиям. В качестве «пилотных» рассмотрены испытания, регламентируемые следующими стандартами: IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4 и IEC 61000-4-5. Представлены основные элементы программы и необходимое оборудование. Программа предлагается к использованию испытательными лабораториями Украины.

**Ключевые слова:** испытание, неопределенность, электростатический разряд, быстрые переходные процессы, всплески напряжения, электронная аппаратура, невосприимчивость.

## CONCEPTION OF THE PROGRAM OF INTERLABORATORY COMPARISONS TESTS IN AREA OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY BY THE IMMUNITY PARAMETERS

V.V. Kniaziev, Yu.S. Nemchenko

In the article conception of construction of the program of interlaboratory comparative immunity tests of a technical equipments is considered to strange electromagnetic influences. As a "pilot" tests regulated by the following standards are considered: IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4 and IEC 61000-4-5. Basic program elements and necessary equipment are described. The program is offered to the use by the proof-of-concept laboratories of Ukraine.

**Keywords:** test, uncertainty, electrostatic discharge, rapid transients, splashes of tension, electronic apparatus, immunity.