

# Результати міжлабораторних порівняльних випробувань на несприйнятливості технічних засобів до дії електромагнітних завад

**В. Князев**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, керівник з якості випробувальної лабораторії Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Молнія», НТУ «ХПІ», м. Харків

**Результаты межлабораторных сравнительных испытаний на невосприимчивость технических средств к действию электромагнитных помех**

В. Князев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, руководитель по качеству Испытательной лаборатории Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния», НТУ «ХПИ», г. Харьков

**The Results of Comparative Tests Between Laboratories for Research of Stability toward Hash Impacts**

V. Kniaziev, Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist, Quality Management Head of Test Laboratory, Research and Development Institute «Molniya», National Technical University «KhPI», Kharkiv

*У статті наведено результати першого раунду міжлабораторних порівняльних випробувань у галузі електромагнітної сумісності (ЕМС) технічних засобів (ТЗ) за параметрами їхньої несприйнятливості до дії електромагнітних завад.*



В. Князев

## СТАН ПРОБЛЕМИ

Система управління якістю (СУЯ) випробувань, що здійснюються органами з оцінки відповідності, охоплює одним з важливих елементів участь у міжлабораторних порівняльних випробуваннях (МПВ). Такий спосіб контролю є ефективним, бо можливі недоліки виявляються відразу. Політика Національного агентства з акредитації України (НААУ) [1] та відповідна концепція НААУ [2] враховують той факт, що існують галузі, в яких перевірка якості проведення випробувань таким чином не застосовується. До такої галузі належать випробування на несприйнятливості ТЗ до дії сторонніх електромагнітних завад. Це пов'язане з неможливістю застосування стандартизованих рекомендацій, які в галузі ЕМС існують лише у частині випробувань, пов'язаних із визначенням рівнів емісії електромагнітних завад. Особливість випробувань на несприйнятливості полягає в тому, що результати мають якісний характер. Тому, до сьогодні МПВ на несприйнятливості ТЗ до дії сторонніх електромагнітних завад не здійснювались.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для вирішення цієї проблеми у роботі [3] запропоновано концепцію, в основу якої покладено оцінення впливу джерел невизначеності результатів випробувань. Є три категорії джерел невизначеності результатів випробувань [4], обумовлені випробувальною лабораторією (ВЛ); випробувальним стандартом і випробовуваними зразками продукції. У роботі [5] доведено, що основним джерелом невизначеності результатів випробувань за параметрами несприйнятливості є чинники, обумовлені випробувальними стандартами.

До джерел невизначеності, пов'язаних із випробувальним стандартом, належать: характеристики випробувального обладнання (ВО), зокрема невизначеність результатів атестації та верифікації; опис процедури випробувань; навколишні умови; розміщення ВО; функціонування ВО; тип ВО. Визначальний вплив на результати випробувань рівня несприйнятливості ТЗ мають параметри ВО, які обумовлюють ступінь дестабілізуючої дії завади [5]. Взагалі, дестабілізуюча дія завади зумовлена всіма

її амплітудо-часовими параметрами. Враховуючи досвід випробувань, автор як числове вираження ступеня дестабілізувальної дії запропонував параметр  $Li$ , який

**Особливість випробувань на несприйнятливості полягає в тому, що результати мають якісний характер. Тому, до сьогодні МПВ на несприйнятливості ТЗ до дії сторонніх електромагнітних завад не здійснювались**

дорівнює середньому значенню швидкості зростання фронту фізичної величини, яка характеризує заваду. В подальшому, з накопиченням даних, можна ввести додаткові параметри щодо характеристики дестабілізувальної дії завади, наприклад, інтеграл напруги (сили струму). Ці положення покладено в основу розробленої Програми та Методики (МПВ) [6], погодженої всіма організаціями учасниками МПВ. За цією МПВ реалізується перший (вибірковий) раунт, за результатами якого визнають випробувальні генератори з близькими значеннями параметра  $Li$ . Результати проведеного першого раунту викладено далі.

**МЕТА ПУБЛІКАЦІЇ**

Надати інформацію щодо участі чотирьох ВЛ України, які спеціалізуються в галузі ЕМС, в апробації методики порівняльних випробувань на несприйнятливості ТЗ до дії сторонніх електромагнітних завад, що здійснено вперше у світовій практиці.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Як «пілотні» види випробувань у МПВ розглянуто такі, що регламентуються стандартами ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 [7], ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 [8], ДСТУ ІЕС 61000-4-5:2008 [9]. Участь у МПВ була можлива не за всіма, а, наприклад, лише за одним видом, який вибирає ВЛ.

Першим етапом методики є визначення вихідних параметрів випробувальних генераторів на запропонованих випробувальних рівнях. Якщо генератор хоча б одного учасника МВП відповідає вимогам стандарту не за всіма випробувальними рівнями, тоді випробування виконують на тих випробувальних рівнях, які мають генератори усіх учасників МВП. Особливістю зазначених вище видів випробувань є те, що відповідні стандарти регламентують значні допустимі відхилення на параметри генерованих імпульсів, внаслідок чого дестабілізувальна дія завади залежно від параме-

трів випробувального генератора може відрізнятися у понад два рази. Отже, як було зазначено раніше, результати випробувань мають найбільший коефіцієнт чутливості до параметрів дієвого чинника. Відтворюваність результатів випробувань насамперед залежить від близькості параметрів дієвого чинника, що генерується у різних ВЛ. Тому, за результатами першого етапу встановлюється ступінь відхилення вихідних параметрів конкретного генератора від еталона, тобто від тих значень, які наведено в стандарті без урахування допустимих відхилень. Встановлюється також коефіцієнт дестабілізувальної дії кожного генератора.

**Існує три категорії джерел невизначеності результатів випробувань, обумовлені випробувальною лабораторією; випробувальним стандартом і випробовуваними зразками продукції**

На основі отриманих експериментальних даних оцінюють невизначеність результатів досліджень параметрів генераторів. Методику визначення та оцінювання складників бюджету невизначеності застосовують аналогічно до прикладів, наведених у нових редакціях стандартів Міжнародної електротехнічної комісії [10—12].

Лабораторії, які брали участь у порівняльних випробуваннях, надали свої випробувальні генератори

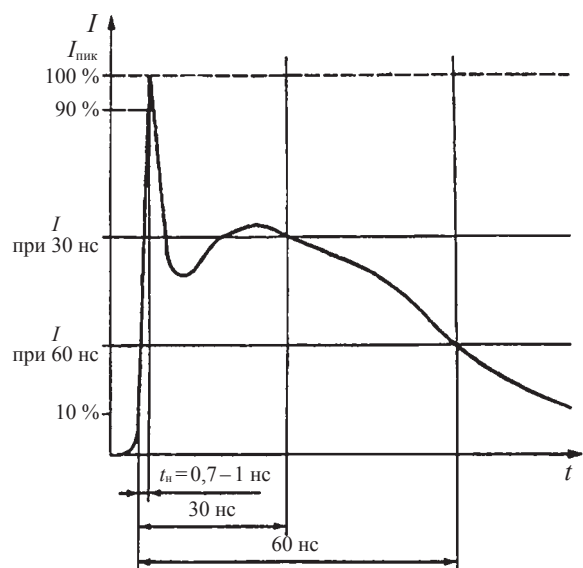


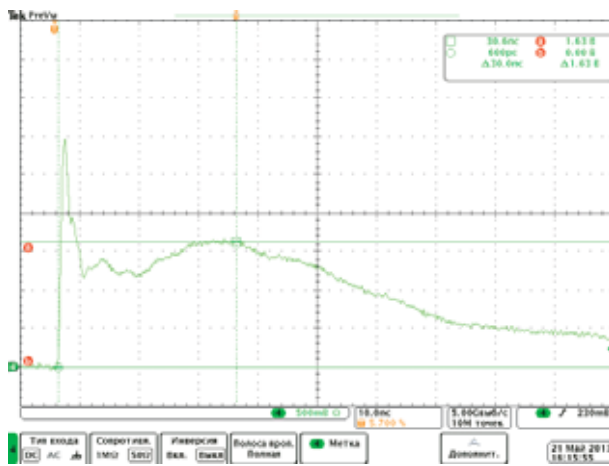
Рис. 1. Типова форма хвилі вихідного струму генератора ЕСР у випадку контактного розряду за ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 [7],

Таблиця 1. НТХ генераторів ЕСР за контактного розряду

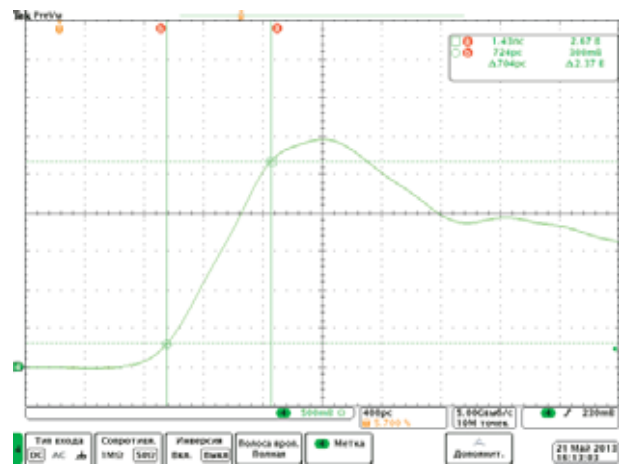
Випробувальний рівень	Випробувальна напруга, кВ	Перший максимум сили розрядного струму $\pm 10\%$ , А	Тривалість наростання $t_n$ з розрядним ключем, нс	Сила розрядного струму	
				за 30 нс, А	за 60 нс, А
1	$2 \pm 0,1$	$7,5 \pm 0,75$	від 0,7 до 1,0	$4 \pm 1,2$	$2 \pm 0,6$
2	$4 \pm 0,2$	$15,0 \pm 1,5$		$8 \pm 2,4$	$4 \pm 1,2$
3	$6 \pm 0,3$	$22,5 \pm 2,25$		$12 \pm 3,6$	$6 \pm 1,8$
4	$8 \pm 0,4$	$30,0 \pm 3,0$		$16 \pm 4,8$	$8 \pm 2,4$

Як числове вираження ступеня дестабілізуючої дії запропоновано параметр  $L_i$ , який дорівнює середньому значенню швидкості зростання фронту фізичної величини, яка характеризує заваду

до координатора програми, який забезпечив дослідження вихідних параметрів генераторів відповідно до процедур верифікації, які регламентуються відповідними стандартами, та за методиками, узгодженими Держспоживстандартом України. Координатором МПВ з ЕМС у частині випробувань на несприйнятливості виступила ВЛ Науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту «Молнія» НТУ «Харківський

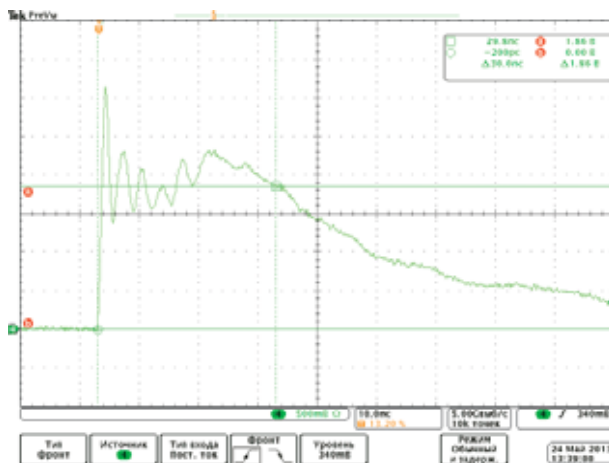


$A_x = 10$  нс/поділ

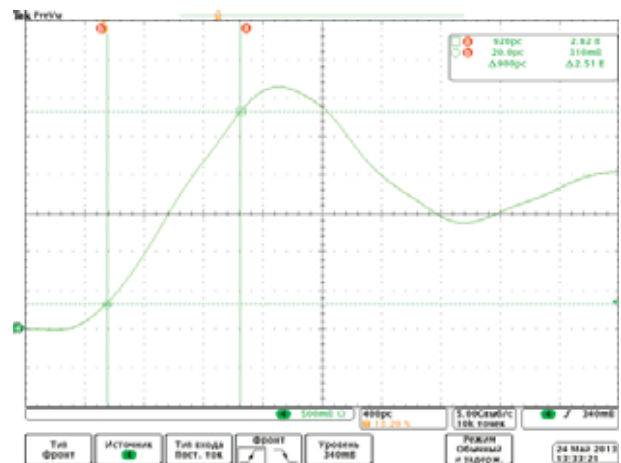


$A_x = 0,4$  нс/поділ

Рис. 2. Осцилограми сили вихідного струму генератора № 1

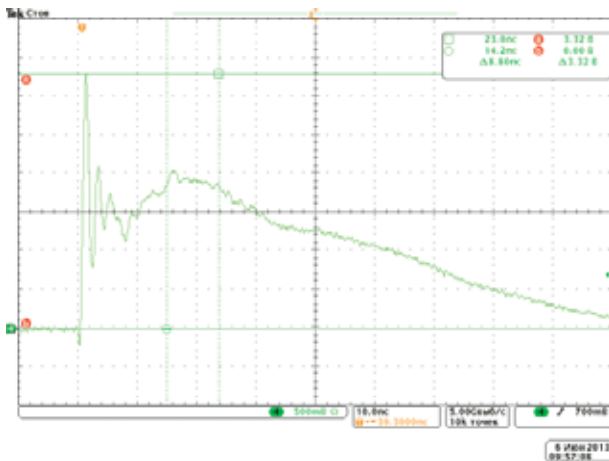


$A_x = 10$  нс/поділ

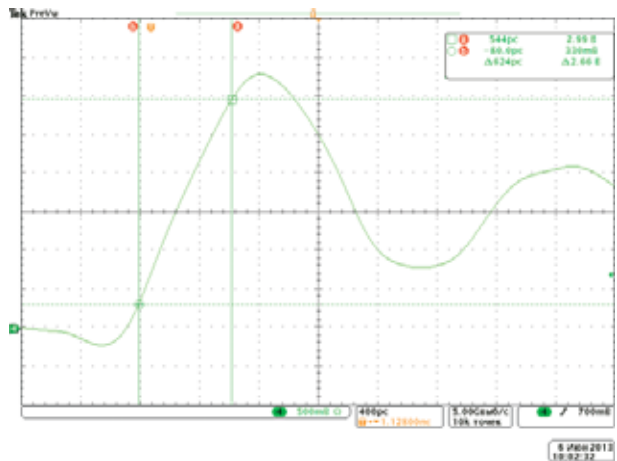


$A_x = 0,4$  нс/поділ

Рис. 3. Осцилограми сили вихідного струму генератора № 2

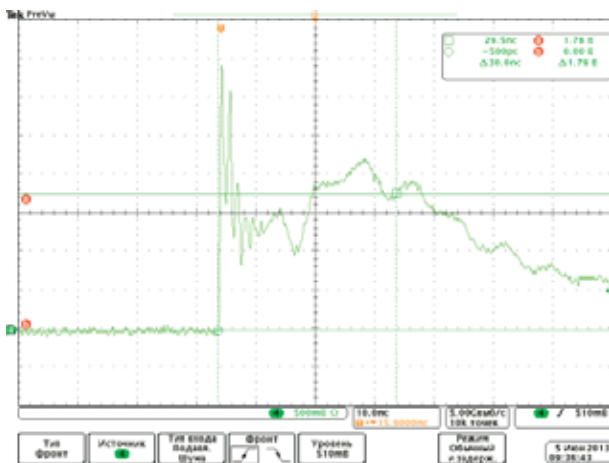


$A_x = 10$  нс/поділ

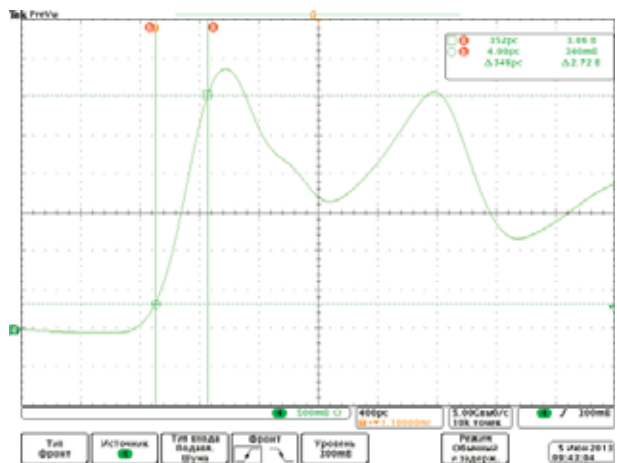


$A_x = 0,4$  нс/поділ

Рис. 4. Осцилограми сили вихідного струму генератора № 3



$A_x = 10$  нс/поділ



$A_x = 0,4$  нс/поділ

Рис. 5. Осцилограми сили вихідного струму генератора № 4

Таблиця 2. Підсумкові результати МПВ

Генератор	Амплітуда першого максимуму, $I_{1max}, A$	Амплітуда через 30 нс, $I_{30}, A$	Амплітуда через 60 нс, $I_{60}, A$	Тривалість наростання $t_r, нс$	Параметр $Li, (2)/(5)$	Відносне значення, $LB_i^*$
<b>НТХ за ДСТУ ІЕС 61000-4-2: 2008</b>	<b><math>30,0 \pm 3,0</math></b>	<b><math>16 \pm 4,8</math></b>	<b><math>8 \pm 2,4</math></b>	<b>від 0,7 до 1,0</b>	<b>35,3</b>	<b>0,0</b>
№ 1	$27,68 \pm 0,68$	$14,92 \pm 0,48$	$7,59 \pm 0,29$	$0,72 \pm 0,02$	<b>38,7</b>	+0,1
№ 2	$28,79 \pm 0,92$	$17,84 \pm 0,63$	$6,28 \pm 0,23$	$0,88 \pm 0,02$	<b>32,9</b>	- 0,07
№ 3	$29,90 \pm 1,20$	$13,92 \pm 0,45$	$7,48 \pm 0,25$	$0,65 \pm 0,02$	<b>46,0</b>	+ 0,3
№ 4	$32,98 \pm 1,49$	$15,56 \pm 1,04$	$7,19 \pm 0,66$	$0,345 \pm 0,012$	<b>95,6</b>	1,71

**Примітки:**

1. Під час обчислення параметру  $Li$  за даними ДСТУ 61000-4-2:2008 [7], прийнято середнє значення тривалості наростання імпульсу 0,85 нс.
2. Значення  $LB_i$  обчислюють за наведеною далі формулою і розташовують на осі, на якій за нульове значення координати прийнято  $L_0$ , вираховане за стандартизованими параметрами процесу:  $LB_i = (L_i - L_0)/L_0$ .

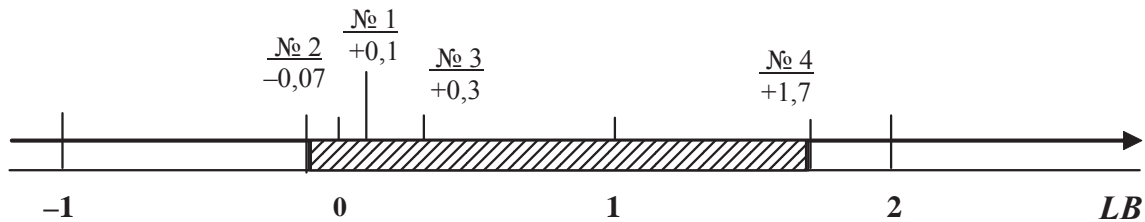


Рис. 6. Позиції випробувальних генераторів на шкалі дестабілізувальної дії

політехнічний інститут» (атестат акредитації 2Н484). Представники ВЛ-учасника спостерігати за результатами, які отримували під час досліджень її генераторів. Результати МПВ є конфіденційними, тому результати учасників наведено під порядковим номером.

На цьому етапі МПВ мають тип програми «Спільні дослідження» (collaborative study) та пов'язані з верифікацією окремих методів за допомогою експери-

### Методика проведення МПВ за параметрами несприйнятливості розроблена та реалізована вперше у світовій практиці

ментального визначення нормованих точнісних характеристик (НТХ) вихідних імпульсів генераторів Г-ЕСР, Г-НІЗ і Г-МІЗ і порівняння їх з нормами на відтворюваність імпульсів електростатичних розрядів (ЕСР) згідно з ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 [7], швидких перехідних процесів / пакетів імпульсів згідно з ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 [8] та сплесків напруги та сили струму згідно з ДСТУ ІЕС 61000-4-5:2008 [9].

Кожним учасником МПВ було надано лише генератори електростатичних розрядів. Тому, далі наведено результати саме щодо визначення НТХ генераторів, які забезпечують випробувальні рівні та форми вихідних імпульсів згідно з ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 [7]. Форму та НТХ електростатичних розрядів згідно з ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 [8], наведено на рис. 1 та у табл. 1.

До участі в МПВ було надано:

- генератор ЕСР (виробник: фірма «DITO», Швейцарія), заводський номер V1018106457;
- генератор ЕСР ESD 3000 (виробник: «EMC-PARTNER», Швейцарія), заводський номер 0563;
- два випробувальні генератори ЕСР ИГЭ 15.2а (виробник: НПП «Прорыв», Росія), заводські номери 0609472 та 1109483.

Результати першого раунту МПВ наведено далі. Кожен із представлених зразків генераторів пройшов випробування відповідно до ПМ МПВ EMC-CS-1:2013 [6]. Результати випробувань відобра-

жено у відповідних протоколах. Кожен з учасників МПВ отримав протокол із результатами випробування свого генератора та протокол з підсумковими результатами. Визначення НТХ генераторів ЕСР, задіяні у МПВ, проводив по черзі один і той самий кваліфікований персонал з використанням штатного комплексу вимірювального обладнання, описаного в роботі [3]. Процедуру визначення НТХ генераторів виконано відповідно до розділу 14.1 ПМ МПВ EMC-CS-1:2013 [6]. Вибрано випробувальний рівень 8 кВ для позитивної полярності (контактний розряд). На рис. 2—5 наведено типові осцилограми імпульсу та фронтової частини імпульсу для кожного з генераторів. Підсумкові результати представлено далі в табл. 2.

Розташування випробувальних генераторів на умовній шкалі дестабілізувальної дії представлено на рис. 6.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що генератори за номерами 1—3 мають близькі значення дестабілізувальної дії (у межах  $\pm 0,5$ ) і можуть бути допущені до другого раунту МПВ. Генератор за № 4 має пройти корегування вихідних параметрів на підприємстві-виробнику.

### ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ПОШУКУ

МВП здійснено в ініціативному порядку. Їх учасниками стали чотири ВЛ України. Методика проведення МПВ за параметрами несприйнятливості розроблена та реалізована вперше у світовій практиці.

За результатами визначено групу випробувальних генераторів, що допускаються до участі в другому раунті, та генератор, який потребує регулювання вихідних параметрів.

Другий раунт МПВ полягає у випробуваннях конкретного ТЗ (одного й того самого зразка, або різних зразків із партії). Концепція цього раунту випробувань полягає у наступному. Фактично, несприйнятливості ТЗ до дії зовнішніх завад залежить від багатьох внутрішніх чинників, наприклад, ресурсу й «утоми» елементної бази. Тому, ця категорія джерел оцінюється за умовною шкалою з інтервалами А, В, С і D, відповідно до критеріїв якості



функціонування ТЗ. Якість порівняльних випробувань вважають задовільною, якщо їхні результати на несприйнятливості ТЗ перебувають у межах одного критерію якості функціонування ТЗ. Отримання результатів, які перебувають у суміжних інтервалах, не означає, що випробування не відповідають вимогам з якості. Проте, такі випадки потребують урахування параметру  $Li$  дестабілізують-

ного випробувального обладнання та аналізу методик проведення випробувань. За умов отримання результатів випробування, які належать до несуміжних інтервалів якості функціонування ТЗ, випробування мають бути ретельно перевірені комісією з фахівців ВЛ. За досягнутої домоленості другий раунд випробувань буде проведено у серпні—вересні 2013 року.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Політика НААУ щодо участі ВЛ у програмах МПР. ЗД-08.01.03 (ред. 03 від 07.12.2010) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [www.naau.org.ua/documents/metod/polit.html](http://www.naau.org.ua/documents/metod/polit.html).
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) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.naau.org.ua/mpr.html>.
3. Князев В.В., Немченко Ю.С. Концепція програми міжлабораторних порівняльних випробувань в галузі електромагнітної сумісності за параметрами несприйнятливості // Системи обробки інформації. — 2013. Вип. 3 (110). — С.167—171.
4. IEC/TR 61000-1-6:2012. Electromagnetic compatibility. Part 1—6.General—Guidetoassessmentofmeasurement uncertainty. (Технічний звіт IEC 61000-1—6:2012 Електромагнітна сумісність. Частина 1—6 Загальний — Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання).
5. Князев В.В. Електромагнітна сумісність і нормативне забезпечення відтворюваності випробувань // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2011. — №4. — С. 27—30.
6. Програма та методика міжлабораторних порівняльних випробувань в галузі електромагнітної сумісності за параметрами несприйнятливості технічних засобів до впливу електромагнітних завад. Частина 1. Випробування технічних засобів на несприйнятливості до впливу електростатичних розрядів, швидких перехідних процесів / пакетів імпульсів та сплесків напруги і струму. ПМ МПВ EMC-CS-1:2013. — Харків, 2013. — 69 с. (рукопис).
7. Електромагнітна сумісність (EMC) — Частина 4—2: Методики випробувань та вимірювань — Випробування на несприйнятливості до електростатичних розрядів (IEC 61000-4-2:2001, IDT); ДСТУ IEC 61000-4-2:2008. — [Чинний від 2008-09-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2008. 26 с. — (Національний стандарт України).
8. Електромагнітна сумісність (EMC) — Частина 4—4: Методики випробувань та вимірювань — Випробування на несприйнятливості до швидких перехідних процесів / пакетів імпульсів (IEC 61000-4-4:2004, IDT): — [Чинний від 2008-09-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2008, 24 с. — (Національний стандарт України).
9. Електромагнітна сумісність (EMC) — Частина 4—5: Методики випробувань та вимірювань — Випробування на несприйнятливості до сплесків напруги та сили струму (IEC 61000-4-5:2005, IDT): — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2010, 32 с. — (Національний стандарт України).
10. IEC 61000-4-2:2008. Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4—2: Testing and measurement techniques — Electrostatic discharge immunity test. (Стандарт IEC 61000-4-2:2008. Електромагнітна сумісність (EMC) — Частина 4—2: Методики випробувань та вимірювань — Випробування на несприйнятливості до електростатичних розрядів).
11. IEC 61000-4-4:2012. Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4—4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test. (Стандарт IEC 61000-4-4:2012. Електромагнітна сумісність (EMC) — Частина 4—4: Методики випробувань та вимірювань — Випробування на несприйнятливості до швидких перехідних процесів / пакетів імпульсів).
12. IEC 61000-4-5 (Project) Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-5: Testing and measurement techniques — Surge immunity test. (Стандарт IEC 61000-4-5 (Проект) Електромагнітна сумісність (EMC) — Частина 4—2: Методики випробувань та вимірювань — Випробування на несприйнятливості до сплесків напруги та сили струму). ■