

ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМОГАМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

В.В. Князєв, Г.Ю. Сафнюк

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», вул. Шевченка, 47, Харків, Україна, tc22@i.ua

Анотація

У статті наведено приклад оцінки невизначеності результатів випробувань рівня несприйнятливості обладнання до впливу імпульсної напруги 4 кВ формою 1,2/50 мкс, що регламентовано стандартом ДСТУ EN 61000-4-5:2019. Відмічено, що інформація яка міститься у стандартах серії ДСТУ EN/IEC 61000-4 надає зразок оцінки невизначеності лише результатів верифікації вихідних параметрів генераторів електромагнітних збурень. Наприклад, у ДСТУ EN 61000-4-5:2019 детально розглянуті бюджети невизначеності для тривалості фронту, тривалості спаду, пікового значення імпульсу напруги на виході генератора в режимі холостого ходу. Спираючись на результати власних досліджень автори надають зразок оцінки невизначеності результатів випробувань, за використання відповідного генератора. Вказано, що отримане значення невизначеності слід трактувати як ступень відповідності вимогам стандарту. Але, при проведенні міжлабораторних порівняльних випробувань за використання різних генераторів, слід враховувати коефіцієнт дестабілізуючої дії. Цей коефіцієнт запропоновано визначати як відношення допустимого максимального значення похідної імпульсу напруги до її мінімального значення. У приладі, що розглянуто, коефіцієнт дорівнює 2,28. Показані основні труднощі реалізації детального розгляду завдання, обґрунтований вибір складових, що роблять основний внесок, і можливість знехтувати впливом інших.

Ключові слова: електромагнітна сумісність; випробувальне обладнання; результат випробувань; несприйнятливість; бюджет невизначеності; коефіцієнт дестабілізуючої дії.

Вступ

Технічний регламент України з електромагнітної сумісності обладнання встановлює вимоги до видів випробувань в залежності від місця експлуатації обладнання. Для використання обладнання на об'єктах високої екологічної безпеки, наприклад, атомних електростанціях, об'єктах, до функціонування яких пред'являються особливі вимоги надійності функціонування, наприклад, літаках, випробування обладнання повинні проводитися в акредитованих випробувальних лабораторіях, які відповідають вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 [1]. Одним з аспектів вимог зазначеного стандарту є підтвердження достовірності результатів випробувань, в тому числі шляхом проведення міжлабораторних порівняльних випробувань, що, зокрема, передбачає оцінку невизначеності результатів випробувань. Автори в своїх попередніх публікаціях [2-6] звертали увагу на відмінну рису випробувань стійкості обладнання до впливу регламентованих стандартами різноманітних електромагнітних завад, яка полягає в тому, що результати випробувань носять якісний характер, який визначається відповідністю заданому критерію якості функціонування.

Сучасні редакції стандартів серії ДСТУ EN 61000-4, в тому числі [7-9], містять розділи з описом процедури оцінки невизначеності вихідних параметрів випробувальних генераторів. Наприклад, в ДСТУ EN 61000-4-5:2019 [9] детально розглянуті приклади бюджету невизначеності для тривалості фронту, тривалості спаду, пікового значення імпульсу напруги на виході генератора в режимі холостого ходу. Зазначені дані відносяться до процедури верифікації

самого генератора. Аналогічна ситуація з іншими стандартами цієї серії.

У той же час, при акредитації випробувальної лабораторії ставиться вимога показати оцінку невизначеності результатів випробувань. Очевидно, що значення невизначеності при верифікації параметрів генератора є однією зі складових бюджету невизначеності результатів випробувань. У статті розглянуто внесок всіх складових бюджету невизначеності на прикладі реалізації випробувань по ДСТУ EN 61000-4-5:2019 [9]. Показані основні труднощі реалізації детального розгляду завдання, обґрунтований вибір складових, що роблять основний внесок, і можливість знехтувати впливом інших.

Стандарт ГОСТ 24555-81 [10], який регламентує порядок атестації випробувального обладнання (ВО), скасований в Україні з 01.01.2019 р Спроби розробити і впровадити аналогічний варіант ДСТУ, вжиті ННЦ «Інститут метрології», не увінчалися успіхом. Фактично, атестацію ВО замінили верифікацією, відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025: 2017 [1]. Верифікація - це надання об'єктивних доказів того, що дане ВО відповідає вимогам реалізованих стандартів. В основі цієї процедури - визначення НТХ вихідних сигналів і оцінка невизначеності.

На даний момент в Україні відсутні документи, що регламентують порядок верифікації ВО. Для вирішення цієї проблеми в НДПКІ «Молнія» розроблений стандарт організації СОУ 71.2-14102968-001:2018 [11]. При розробці СОУ враховані результати аналізу чинних стандартів в області електромагнітної сумісності (ЕМС). Для всіх видів випробувальних впливів використовуються два типи сигналів -

імпульсні та синусоїдальні. Імпульсні сигнали характеризуються амплітудно-часовими параметрами (АЧП), а синусоїдальні амплітудно-частотними характеристиками (АЧХ). Основним розділом СОУ є експериментальний розділ, в якому викладена методика визначення НТХ за АЧП або АЧХ. На підставі отриманих результатів складаються таблиці для подальшого визначення НТХ і розрахунку невизначеності. При складанні бюджету невизначеності (БН) результатів випробувань за кожним методом випробувань необхідно врахувати рівень професіоналізму персоналу, який проводить випробування, вплив умов навколишнього середовища, результати калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), результати верифікації ВО. Іноді, спираючись на досвід, деякі складові як, наприклад, «типи використаних кабелів» оцінюються експертно. Так, виявилось, що для проведення випробувань з ЕМС можна знехтувати температурною складовою вкладу у БН, коли умови роботи зразків задаються технічним завданням розробника як нормальні, а у випробувальній лабораторії ці вимоги підтримуються кліматичною технікою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує три категорії джерел невизначеності результатів випробувань які обумовлені такими чинниками [4, 12-14]: особливостями випробувальної лабораторії (ВЛ); вимогами стандарту, за яким здійснюються випробування до величини допусків і особливостями зразків продукції, що випробуються. Аналіз особливостей підходів до оцінювання невизначеності у галузі ЕМС в документах CISPR 16-4, наведено у роботі [15].

До можливих джерел невизначеності, пов'язаних із ВЛ, віднесено такі: навички оператора, який проводить випробування; опрацювання результатів; протоколювання; ступінь впровадження 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.

До джерел невизначеності, пов'язаних зі стандартом згідно якого проводять випробування, віднесено таке: характеристики випробувального обладнання, зокрема невизначеність результатів верифікації; характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), зокрема невизначеність результатів калібрування; однозначність трактування процедури випробувань; визначення умов навколишнього середовища; вимоги до розміщення випробувального обладнання (ВО); якість функціонування ВО; тип ВО. Числові значення основних джерел невизначеності, пов'язаних із випробувальним і вимірювальним обладнанням, зазначено у технічній документації на обладнання. Отже, частину зазначеної категорії джерел невизначеності, може бути враховано

достатньо коректно, наприклад, як це зроблено в роботах [2, 3].

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 [5, 6]. Несприйнятливість характеризується чотирма критеріями якості. У стандартах ІЕС 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 обладнання, що випробовується 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 ушкодженням апаратного чи програмного забезпечення, або втратою даних. Фактично несприйнятливість 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 статті

Надати зразок оцінки невизначеності результатів випробувань рівня несприйнятливості обладнання до впливу електромагнітних збурень, та висвітлити проблеми, які при цьому виникають.

Оцінка невизначеності результатів випробувань несприйнятливості технічних засобів до впливу сплесків напруги та струму

В якості прикладу далі розглянуто порівняння результатів оцінки невизначеності вимірювання пікового значення імпульсу напруги з генератора, що наведено у стандарті ДСТУ EN 61000-4-5:2019 [9], та проведено у ВЛ НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ», з урахуванням застосованого обладнання.

В ДСТУ EN 61000-4-5:2019 виміряну величину пікового значення імпульсу напруги в режимі холостого ходу розраховують за допомогою функціональної залежності:

$$V_p = \frac{V_{PR}(1+\delta R+\delta V)}{1-\left(\frac{\beta}{B}\right)^2} A \quad (1)$$

де V_{PR} – значення пікової напруги, яку показав осцилограф;

A - ослаблення застосованого пробника напруги;

δR - корекція на невідтворюваність;

δV - точність вимірювання за вертикальною віссю осцилографа;

B- ширина смуги пропускання вимірювальної системи на рівні мінус 3 дБ.

β - коефіцієнт, значення якого (12,7±1,4) кГц;

Таблиця 1

Бюджет невизначеності результатів вимірювання пікового значення імпульсу напруги в режимі холостого ходу [9, Table F.2]

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
V_{PR}	3,84	V	0,007 5	V	triangular	2,45	0,0031	1001	1	3,06	V
A	1 000	1	50	1	rectangular	1,73	28,9	3,84	V	111	V
δR	0	1	0,03	1	normal ($k = 1$)	1,00	0,03	$3,84 \times 10^3$	V	115	V
δV	0	1	0,02	1	rectangular	1,73	0,012	$3,84 \times 10^3$	V	44,4	V
B	12,7	kHz	1,4	kHz	rectangular	1,73	0,81	0,38	V/kHz	0,32	V
β	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,9	0,009 6	V/kHz	0,29	V
								$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$		0,166	kV
								$U(y) = 2 u_c(y)$		0,33	kV
								V		3,84	kV
								Expressed in % of 3,84 kV		8,6	%

^a Probability density function.

Приклад бюджету невизначеності для пікового значення імпульсу напруги в режимі холостого ходу згідно [9], представлено в таблиці 1. Наведено скріншот з оригіналу, для звернення уваги на наявну помилку: у першому стовбці передостанній строчці має бути позначення β .

Примітки:

V_{PR} – показання пікової напруги. Границі похибки отримані в припущенні, що осцилограф має вертикальну роздільну здатність 8 біт з можливістю інтерполяції (трикутна функція розподілу ймовірності).

A – ослаблення пробника напруги постійного струму. Передбачаються значення оцінки 1000 і межа похибки 5 % (функція розподілу ймовірності прямокутної форми).

δR – кількісна оцінка невідтворюваності вимірювальної установки, компонування і вимірювальних приладів. Це оцінка типу A, заснована на експериментальному стандартному відхиленні вибірки з повторних вимірів пікового напруги. Вона виражається у відносних величинах і передбачає оцінку 0 % і кордон похибки 3% (одне стандартне відхилення).

δV – кількісна оцінка неточності вимірювання амплітуди постійного струму осцилографом. Припускають границі похибки 2 %, функцію розподілу ймовірності прямокутної форми і оцінку 0.

β – коефіцієнт, що залежить від форми як імпульсного відгуку вимірювальної системи, так і стандартного імпульсного сигналу в околиці піку. Інтервал $(12,7 \pm 1,4)$ кГц є представницьким для широкого класу систем, кожна з яких має різну форму імпульсної характеристики.

B – Ширина смуги вимірювальної системи може бути отримана експериментально (пряме вимірювання ширини смуги) або розраховується зі смуги пропускання кожного елемента B_i вимірювальної системи (по суті, пробника напруги,

кабелю і осцилографа), використовуючи наступне рівняння [9]:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots} \quad (2)$$

Для B припускають оцінку 500 кГц і кордон похибки 50 кГц для прямокутної функції щільності ймовірності.

u – найкраща оцінка вимірюваної величини, з поправкою на все враховані і значні систематичні впливи;

$u(x_i)$ – стандартна невизначеність кращої оцінки впливаючої величини X_i

c_i – коефіцієнт чутливості, часткова похідна щодо X_i моделі вимірювань, оціненої за кращими оцінками x_i вхідних величин X_i ;

$u_c(y)$ – сумарна стандартна невизначеність кращої оцінки вимірюваної величини;

$U(y)$ – розширена невизначеність кращої оцінки вимірюваної величини,

Результати оцінки невизначеності пікового значення імпульсу напруги з генератора КИГ-МИП-6 у режимі холостого ходу на випробувальному рівні 4 кВ, здійснені у ВЛ НДПКІ «Молнія» НТУ «ХП», наведено у таблиці 2. Функціональна залежність та позначення співпадають з визначеними у стандарті [9]. При верифікації генератору використано таке вимірювальне обладнання: осцилограф Tektronix 2024B, дільник P6015A.

Розрахунки відносно усіх параметрів вихідного імпульсу напруги генератора, робляться аналогічно тому, як вказано у стандарті [9]. Комплекс цих даних дозволяє перейти до заключної етапу – оцінки невизначеності результатів випробувань із застосуванням обладнання конкретної випробувальної лабораторії. У таблиці 3 наведено таку оцінку для застосування обладнання ВЛ НДПКІ «Молнія» НТУ «ХП».

Таблиця 2

Бюджет невизначеності результатів вимірювання пікового значення імпульсу напруги в режимі холостого ходу генератора КИГ-МИП-6.

Позначення	Оцінка	Од. вим.	Границя похибки	Од. вим.	Розподіл імовірностей	Дільник	$u(x_i)$	c_i	Од. вим.	$u_i(y)$	Од. вим.
V_{PR}	4,0	В	0,007	В	трикутний	2,45	0,0028	1000	1	2,8	В
A	1000	1	50	1	прямокутний	1,73	28,9	4	В	115,6	В
δR	0	1	0,014	1	нормальний	1,00	0,014	4000	В	56	В
δV	0	1	0,02	1	прямокутний	1,73	0,012	4000	В	48	В
							$U_c(y) = \sqrt{\sum U_i(y)^2}$			0,137	кВ
							$U(y) = 2U_c(y)$			0,274	кВ
							y			4,0	кВ
							У відсотках від 4,0 кВ			6,85	%

Примітка:

Співвідношення $\beta / B = 0,00017 \ll 1$, виключено з розрахунку.

Таблиця 3

Бюджет невизначеності результатів випробувань імпульсною напругою за ДСТУ EN 61000-4-5:2019

Складові невизначеності	Значення невизначеності, (+/- %)	Розподіл імовірностей	Дільник	Стандартна невизначеність, (%)
1	2	3	4	5
Невизначеність верифікації генератора КИГ-МИП-6	6,85	нормальний	2	3,43
Невизначеність верифікації УСР (пристрій зв'язку -розв'язки)	1,2	прямокутний	1,73	0,69
Невизначеність кабелів з'єднання	0,1	прямокутний	1,73	0,06
Невизначеність значення опору уземлення	0,1	прямокутний	1,73	0,06
Невизначеність напруги живлення	1,0	прямокутний	1,73	0,6
Невизначеність кліматичних факторів	0,01	прямокутний	1,73	0,006
Сумарна стандартна невизначеність (u)				3,55
Розширена невизначеність (U)		нормальний	2	7,1

Примітки:

- складові бюджету, що враховують навички операторів, які проводять випробування; опрацювання результатів; протоколювання; ступінь впровадження вимог стандарту в процедури випробувань, програмне забезпечення та система якості, не враховано, тому що ВЛНДПКІ «Молнія» НТУ «ХП» акредитовано НАНУ на відповідність вимогам стандарту [1]. В процесі акредитації встановлюється наявність доказів усунення впливу усіх перелічених складових.

- складові невизначеності, віднесені до зразків продукції, що випробовуються, не може бути враховано взагалі без аналізу конкретного зразка. Під час проведення міжлабораторних порівняльних випробувань враховується потенційна спроможність зразка витримувати значні навантаження електромагнітними збуреннями.

З даних таблиці 3 видно, що основний вклад у невизначеність результатів випробувань вносить

невизначеність результатів верифікації генератора КИГ-МИП-6.

Припустимі відхилення від амплітудно-часових параметрів імпульсу напруги мають такі значення: максимум напруги $\pm 10\%$; час наростання $\pm 30\%$; час на півспаді $\pm 20\%$. Дестабілізуюча дія імпульсу напруги на порті обладнання, що випробовується, визначається рівнем випробувальної напруги, який встановлюється у залежності від умов експлуатації обладнання. Рівень визначає лише максимальне значення напруги, але, на результат випробувань впливають і часові параметри, від яких залежить значення похідної та інтегралу дії. Величина похідної впливає на виникнення збоїв обладнання завдяки розповсюдженню за ємнісними зв'язками, а інтеграл дії впливає на термічну деструкцію. У роботі [4] визначено вплив на результати випробувань відхилення амплітудно-часових параметрів. Для виду випробувань, що розглядається за ДСТУ EN 61000-4-5:2019, коефіцієнт допустимого відхилення на

дестабілізуючу дію дорівнює 2,28. Цей коефіцієнт оцінено як усереднену похідну за формулою A/T , де A — амплітуда сигналу, T — тривалість фронту імпульсу. Значення коефіцієнта 2,28 визначено як відношення допустимого максимального значення похідної до її мінімального значення. Припустима розбіжність енергетичних показників завади (за параметром інтегралу дії) має приблизно такий саме коефіцієнт. Бюджет невизначеності результатів випробувань формально не включає цей показник, але, його вплив на результати міжлабораторних порівняльних випробувань принципово важливий.

Висновки

1. Інформація що міститься у стандартах серії ДСТУ EN/IEC 61000-4 надає зразок оцінки

Abstract

The article provides an example of estimating the uncertainty of the test results of the level of immunity of equipment to the impact of 4 kV pulse voltage in the form of 1.2 / 50 μ s, which is regulated by the standard DSTU EN 61000-4-5: 2019. It is noted that the information contained in the standards of the DSTU EN / IEC 61000-4 series provides a sample of estimating the uncertainty only of the results of verification of the initial parameters of electromagnetic perturbation generators. For example, DSTU EN 61000-4-5: 2019 discusses in detail the uncertainty budgets for the duration of the front, the duration of the decline, the peak value of the voltage pulse at the output of the generator at idle. Based on the results of their own research, the authors provide a sample estimate of the uncertainty of the test results, using the appropriate generator. It is stated that the obtained value of uncertainty should be interpreted as the degree of compliance with the requirements of the standard. However, when conducting inter laboratory comparative tests using different generators, the coefficient of destabilizing action should be taken into account. It is proposed to define this coefficient as the ratio of the allowable maximum value of the voltage pulse derivative to its minimum value. In the example considered, the coefficient is equal to 2.28. The main difficulties of realization of detailed consideration of the task, the substantiated choice of the components making the basic contribution, and an opportunity to neglect influence of others are shown.

Keywords: electromagnetic compatibility; test equipment; test result; immunity; uncertainty budget; destabilizing coefficient

Аннотация

В статье приведен пример оценки неопределенности результатов испытаний уровня невосприимчивости оборудования к воздействию импульсного напряжения 4 кВ формой 1,2 / 50 мкс, регламентируемые стандартом ДСТУ EN 61000-4-5: 2019. Отмечено, что информация, которая содержится в стандартах серии ДСТУ EN / IEC 61000-4, предоставляет образец оценки неопределенности только результатов верификации исходных параметров генераторов электромагнитных возмущений. Например, в ДСТУ EN 61000-4-5: 2019 подробно рассмотрены бюджеты неопределенности для длительности фронта, длительности спада, пикового значения импульса напряжения на выходе генератора в режиме холостого хода. Опираясь на результаты собственных исследований, авторы представляют образец оценки неопределенности результатов испытаний, при использовании соответствующего генератора. Указано, что полученное значение неопределенности, следует трактовать как степень соответствия требованиям стандарта. Но, при проведении межлабораторных сравнительных испытаний при использовании различных генераторов, следует учитывать коэффициент дестабилизирующей действия. Этот коэффициент предложено определить, как отношение допустимого максимального значения производной импульса напряжения к ее минимальному значению. В рассматриваемом примере коэффициент равен 2,28. Показаны основные трудности реализации детального рассмотрения задачи, обоснован выбор составляющих, которые дают основной вклад, и возможность пренебречь влиянием других.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; испытательное оборудование; результат испытаний; невосприимчивость; бюджет неопределенности; коэффициент дестабилизирующей действия

Список літератури

1. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. 36 с.
2. Князев В.В., Лесной И.П. Оценка неопределенности результатов испытаний технических средств по параметрам ЭМС. *Системы обработки информации*. Выпуск 6: Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні, прикладні та методичні аспекти. Харків. 2007. С. 44-46.
3. Князев В. В., Сафнюк Г.Ю. Оценка неопределенности результатов аттестации генератора микросекундных импульсных помех большой энергии. *Электротехника и Электромеханика*. 2008. №4. С. 30—33.
4. Князев В. Электромагнітна сумісність і нормативне забезпечення відтворюваності результатів випробувань. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2011. № 4. С. 27-30.
5. Князев В. Результати міжлабораторних порівняльних випробувань на несприйнятливості технічних засобів до дії електромагнітних завод. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2013. № 4. С. 60-65. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2013_4_13.
6. Князев В.В., Немченко Ю.С. Концепція програми міжлабораторних порівняльних випробувань в галузі електромагнітної сумісності за параметрами несприйнятливості. *Системы обработки информации*. 2013. №3. С. 167-171.

http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/10713/soi_2013_3_41.pdf.

7. DSTU EN 61000-4-2:2018. EMS. Частина 4-2. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до електростатичних розрядів. 134 с.
 8. DSTU EN 61000-4-4:2019. Електромагнітна сумісність. Частина 4-4. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до електричних швидких перехідних процесів / пакету імпульсів. 68 с.
 9. DSTU EN 61000-4-5:2019. Електромагнітна сумісність. Частина 4-5. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до сплесків напруги та струму. 160 с.
 10. ГОСТ 24555-81. Система государственных испытаний продукции. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения. Москва: Госкомитет СССР по контролю качества продукции и стандартам, 1990. 9 с.
 11. СОУ 71.2 – 14102968 – 001:2018 Верифікація випробувального обладнання, яке використовується для проведення випробувань на електромагнітну сумісність. Методика. НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПІ». 2018. 31 с.
 12. IEC/TR 61000-1-6:2012 Electromagnetic compatibility. Part 1-6 General – Guide to assessment of measurement uncertainty. 70 с.
 13. CISPR 16-4-1:2009. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-1 Uncertainties, statistics and limit modeling — Uncertainties in standardized EMC test. 122 с.
 14. CISPR 16-4-2:2011. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modeling — Uncertainty in EMC measurements. 120 с.
 15. Захаров И.П., Шевченко Н.С. Особенности подходов к оцениванию неопределенности в области ЭМС в документах CISPR 16-4. *Системы обработки информации*. 2011. №1. С. 6-11.
- References:**
1. DSTU ISO/IEC 17025:2017. Zagalni vimogi do kompetentnosti viprobuvalnih ta kalibruvalnih laboratorij. [General requirements for the competence of testing and calibrating laboratories]. 36 p.
 2. Knyazev V.V., Lesnoj I.P. Ocenka neopredelenosti rezultatov ispytaniy tehniceskikh sredstv po parametram EMS. [Estimation of uncertainty of results of tests of technical means on EMC parameters] *Sistemi obrobki informaciyi*. Vipusk 6: Nevznachenist vimiryuvan: naukovi, normativni, prikladni ta metodichni aspekti. Harkiv. 2007. P. 44-46. (in Russian).
 3. Knyazev V. V., Safnyuk G.Yu. Ocenka neopredelenosti rezultatov attestacii generatora mikrosekundnyh impulsnyh pomeh bolshoj energii. [Estimation of the uncertainty of the results of certification of a high-energy microsecond impulse noise generator]. *Elektrotehnika i Elektromehanika*. 2008. №4. P. 30—33. (in Russian).
 4. Knyazyev V. Elektromagnitna sumisnist i normativne zabezpechennya vidvoryuvanosti rezultativ viprobuvan. [Electromagnetic compatibility and regulatory reproducibility of test results]. *Standartizaciya. Sertifikaciya*. Yakist. 2011. № 4. S. 27-30. (in Ukrainian).
 5. Knyazyev V. Rezultati mizhlaboratornih porivnyalnih viprobuvan na nesprijnyatlivist tehnicnih zasobiv do diyi elektromagnitnih zavod. [Results of interlaboratory comparative tests on immunity of technical means to action of electromagnetic disturbances]. *Standartizaciya. Sertifikaciya*. Yakist. 2013. № 4. P. 60-65. (in Ukrainian). http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2013_4_13.
 6. Knyazyev V.V., Nemchenko Yu.S. Konceptiya programi mizhlaboratornih porivnyalnih viprobuvan v galuzi elektromagnitnoyi sumisnosti za parametrami nesprijnyatlivosti. [The concept of the program of interlaboratory comparative tests in the field of electromagnetic compatibility on parameters of immunity]. *Sistemi obrobki informaciyi*. 2013. №3. S. 167-171. (in Russian). http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/10713/soi_2013_3_41.pdf.
 7. DSTU EN 61000-4-2:2018. EMS. Chastina 4-2. Metodiki viprobuvannya ta vimiryuvannya. Viprobuvannya na nesprijnyatlivist do elektrostatichnik rozryadiv. [EMC. Part 4-2. Testing and measurement techniques. Electrostatic discharges immunity test]. 134 p.
 8. DSTU EN 61000-4-4:2019. Elektromagnitna sumisnist. Chastina 4-4. Metodiki viprobuvannya ta vimiryuvannya. Viprobuvannya na nesprijnyatlivist do elektrichnik shvidkikh perehidnikh procesiv / paketu impulsiv. [EMC. Part 4-4. Testing and measurement techniques. Electrical fast transient / burst immunity test]. 68 p.
 9. DSTU EN 61000-4-5:2019. Elektromagnitna sumisnist. Chastina 4-5. Metodiki viprobuvannya ta vimiryuvannya. Viprobuvannya na nesprijnyatlivist do spleskiv naprugi ta strumu. [EMC. Part 4-5. Testing and measurement techniques. Surge immunity test]. 160 p.
 10. State Standard 24555-81. Sistema gosudarstvennyh ispytaniy produkci. Poryadok attestacii ispytatelnogo oborudovaniya. Osnovnye polozheniya. [System of state product testing. The procedure for the certification of test equipment. Basic provisions]. Moskva: Goskomitet SSSR po kontrolyu kachestva produkci i standartam, 1990. 9 p. (in Russian).
 11. SOU 71.2 – 14102968 – 001:2018 Verifikaciya viprobuvalnogo obladnannya, yake vikoristovuyetsya dlya provedennya viprobuvan na elektromagnitnu sumisnist. Metodika. [Verification of test equipment used for electromagnetic compatibility testing. Method]. NDPKI «Molnija» NTU «HPI». 2018. 31 p.
 12. IEC/TR 61000-1-6:2012 Electromagnetic compatibility. Part 1-6 General – Guide to assessment of measurement uncertainty. 70 p.
 13. CISPR 16-4-1:2009. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-1 Uncertainties, statistics and limit modeling — Uncertainties in standardized EMC test. 122 p.
 14. CISPR 16-4-2:2011. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modeling — Uncertainty in EMC measurements. 120 p.
 15. Zaharov I.P., Shevchenko N.S. Osobennosti podhodov k ocenivaniyu neopredelenosti v oblasti EMS v dokumentah CISPR 16-4. [Peculiarities of approaches to the uncertainty evaluation in the field of electromagnetic compatibility in documents CISPR 16-4]. *Sistemi obrobki informaciyi*. 2011. №1. S. 6-11. (in Russian).