

**Головний редактор:**

*П.І. Несєжмаков, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

**Заступник головного редактора, науковий редактор:**

*Ю.Ф. Павленко, д-р техн. наук, проф., ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

**Редакційна колегія:**

*О. Боднар, доц., університет Мелардален, Швеція*

*О.М. Величко, д-р техн. наук, проф., ДП “Укрметртест-стандарт”, Україна*

*М.М. Горобець, д-р фіз.-мат. наук, проф., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна*

*О.В. Дзисюк, Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Україна*

*І.П. Захаров, д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

*С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Україна*

*О.Д. Купко, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

*Е. Манске, д-р техн. наук, проф., Технічний університет Ільменау, Німеччина*

*Г. Мачін, д-р природничих наук, проф., Національна фізична лабораторія, Велика Британія*

*І.О. Мель, ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

*Л.А. Назаренко, д-р техн. наук, проф., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна*

*Г.Ю. Народноцький, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

*В.В. Паракуда, канд. техн. наук, доц., ДП “НДІ Система”, Україна*

*О.В. Прокопов, д-р фіз.-мат. наук, проф., ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

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

*В.В. Скляр, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ННЦ “Інститут метрології”, Україна*

*Б.І. Стадник, д-р техн. наук, проф., Національний університет “Львівська політехніка”, Україна*

*Ю.М. Туз, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Україна*

**Відповідальний редактор** С.В. Білоусова

**Літературний редактор** Н.О. Мірошніченко

**Комп’ютерна верстка і дизайн** М.Б. Духніч

Надруковано в ННЦ “Інститут метрології”

вул. Мירוносицька, 42, м. Харків, 61002

Журнал зареєстрований у Міністерстві юстиції

України. Свідоцтво про державну реєстрацію серія

КВ № 22932-12832ПР від 26 вересня 2017 р.

“Український метрологічний журнал” включено до Переліку

наукових фахових видань України 18 листопада 2009 р. на

підставі Постанови президії ВАК № 1-05/5.

“Український метрологічний журнал” / “Ukrainian Metrological

Journal” включено до Переліку наукових фахових видань України

на підставі Наказу МОН України від 28 грудня 2017 р. № 1714.

ННЦ “Інститут метрології” зареєстрований у Державному

комітеті телебачення і радіомовлення України. Свідоцтво

видавця серія ДК № 5944 від 15.01.2018 р.

**Адреса редакції:** ННЦ “Інститут метрології”,

вул. Мירוносицька, 42, м. Харків, 61002

**Тел.:** (057) 704-98-43, **факс:** (057) 700-34-47

**E-mail:** journal@metrology.kharkov.ua

**Сайт:** <http://umj.metrology.kharkov.ua/>

Електронна версія – на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського

НАН України [www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Umlzh/index.html](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Umlzh/index.html)

Видання індексується міжнародною бібліометричною та

наукометричною базою даних Google Scholar.

ISSN (Print) 2306-7039

ISSN (Online) 2522-134

DOI: 10.24027/2306-7039

Журнал видається з 1995 р.

**Editor-in-Chief:**

*P. Neyezhnikov, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

**Deputy Editor-in-Chief, Scientific Editor:**

*Yu. Pavlenko, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

**Editorial Board:**

*O. Bodnar, Melardalen University, Vesteros, Sweden*

*O. Dzysyuk, Metrology Center of Military Standards of the Armed Forces of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

*M. Gorobets, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

*S. Kondrashov, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine*

*O. Kupko, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

*G. Machin, National Physical Laboratory, Teddington, UK*

*E. Manske, Technical University of Ilmenau, Germany*

*I. Mel, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

*G. Narodnytskyi, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

*L. Nazarenko, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine*

*V. Parakuda, DP NDI “Systema”, Lviv, Ukraine*

*O. Prokopov, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

*I. Ruzhentsev, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine*

*V. Sklyarov, National Scientific Centre “Institute of Metrology”, Kharkiv, Ukraine*

*B. Stadnyk, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

*Yu. Tuz, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

*O. Velychko, SE “Ukrmetrteststandard”, Kyiv, Ukraine*

*I. Zakharov, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine*

**Responsible Secretary** S. Bilousova

**Literary Editor** N. Myroshnychenko

**Desktop Publishing and Design** M. Dukhnich

The Journal is registered in the Ministry of Justice of Ukraine.

The Certificate of State Registration: series

KV No. 22932-12832PR of September 26, 2017.

“Ukrainian Metrological Journal” was included to the List of

scientific specialized editions of Ukraine on November 18, 2009,

based on the Resolution No. 1-05/5 of the Presidium of the

Higher Attestation Commission.

“Ukrainskyi Metrolohichnyi Zhurnal” / “Ukrainian Metrological

Journal” was included to the List of scientific specialized editions

of Ukraine based on the Order of the Ministry of Education and

Science of Ukraine No. 1714, dated December 28, 2017.

NSC “Institute of Metrology” is registered in the State Commit-

tee for Television and Radio Broadcasting of Ukraine Certificate

of publisher series DK No. 5944, dated January 15, 2018.

**Editorial Address:** NSC “Institute of Metrology”, Myronosytska

Str., 42, Kharkiv, 61002

**Tel.:** (057) 704-98-43, **fax:** (057) 700-34-47

**E-mail:** journal@metrology.kharkov.ua

**Website:** <http://umj.metrology.kharkov.ua/>

Electronic version is on the website of Vernadsky National Library

of The National Academy of Sciences of Ukraine

[www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Umlzh/index.html](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Umlzh/index.html)

The edition is indexed by international bibliometric and

scientometric database Google Scholar.

The Journal has been issued since 1995

**Міжнародне співробітництво**

*Л.М. Віткін, Ю.М. Попруга, Н.А. Двірник, Л.М. Красоха.* Вивчення німецького досвіду у сфері метрології..... 3  
*Франко Павезе.* Чи є перегляд SI “забіганням вперед”?..... 11



**International cooperation**

*L.M. Vitkin, Yu.M. Popruha, N.A. Dvirnyk, L.M. Krasokha.* Study of German experience in the field of metrology..... 3  
*F. Pavese.* Is the revision of the SI “Getting ahead of itself”? ..... 11

**Загальна та законодавча метрологія**

*І.П. Захаров, П.І. Неежмаков, О.А. Бощора.* Визначення ймовірності відповідності засобів вимірювальної техніки метрологічним вимогам..... 18  
*Г.Ю. Народницький.* Об объёме выборки средств измерительной техники при оценке их соответствия техническим регламентам по модулю F ..... 24



**General and legal metrology**

*I.P. Zakharov, P.I. Neyezhnikov, O.A. Botsiura.* Determination of the probability of compliance of the measuring instruments with the metrological requirements..... 18  
*G.Yu. Narodnytskyi.* About the size of measuring instruments sample in the conformity assessment of them with technical regulations on the module F. 24

**Вимірювання електричних та магнітних величин**

*Б.М. Горкунов, С.Г. Львов, Е.А. Борисенко, Тимер Шибан.* Нормированные функции вихрековых измерительных преобразователей с пространственно-периодической структурой поля при многопараметровом контроле металлических изделий ... 28



**Measurements of electric and magnetic parameters**

*B.M. Horkunov, S.H. Lvov, Ye.A. Borysenko, Tamer Shaiban.* Normalized functions of eddy current measuring transducers with spatially periodic field structure for multiparameter control of metal products ..... 28

**Вимірювання оптичних та оптико-фізичних величин**

*А.М. Негрійко, П.І. Неежмаков, О.І. Вінніченко, Л.П. Яценко.* Конструкция современных абсолютных гравиметров на основе атомных интерферометров с холодными атомами та перспективи їх створення в Україні ..... 35  
*В.Ф. Болух, П.І. Неежмаков, А.І. Вінніченко.* Магнитные поля рассеяния электромагнитной катapultы электромагнитного и индукционно-динамического типа баллистического лазерного гравиметра..... 42



**Measurements of optical and optico-physical quantities**

*A.M. Negriyko, P.I. Neyezhnikov, O.I. Vinnichenko, L.P. Yatsenko.* The design of modern absolute gravimeters based on atomic interferometers with cold atoms and prospects of their development in Ukraine..... 35  
*V.F. Bolyukh, P.I. Neyezhnikov, A.I. Vinnichenko.* Stray magnetic fields of an electromechanical catapult of an electromagnetic and induction-dynamic type of a ballistic laser gravimeter ..... 42

**Інформаційні технології та системи**

*Я.О. Серіков, Л.А. Назаренко.* Дослідження частотних і амплітудно-частотних характеристик промислових ультразвукових перетворювачів для неруйнівного контролю якості матеріалів ..... 49  
*М.В. Руда, Т.З. Бубела.* Застосування інформаційно-вимірювальних систем для дослідження якості процесу функціонування консорційних екотонів захисного типу ..... 55



**Information technologies and systems**

*Ya.O. Serikov, L.A. Nazarenko.* Research of frequency and amplitude-frequency characteristics of industrial ultrasound transducers for non-destructive quality control of materials ..... 49  
*V.M. Ruda, T.Z. Bubela.* The use of information-measuring systems in studying the quality of functioning process of consortive protective ecotones ..... 55

**Метрологія у медицині**

*П.В. Кіпоренко, Е.Ю. Гордієнко, Ю.В. Фоменко, Г.В. Шустакова.* Методика вимірювань динаміки температурних полів людини..... 62



**Metrology in medicine**

*P.V. Kiporenko, E.Yu. Gordiyenko, Yu.V. Fomenko, G.V. Shustakova.* The procedure for measurement of the human temperature field dynamics ..... 62

**Інформація**

Рекомендації XI Міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (“Метрологія–2018”) ..... 67  
Оголошення про набір на курси підвищення кваліфікації фахівців ..... 70  
До відома авторів ..... 72



**Information**

Recommendations of XI International Scientific & Technical Conference “Metrology and Measurement Techniques” (Metrology–2018)..... 67  
Announcement of the intake to the courses of advanced training of specialists ..... 70  
Information for the authors..... 72



# Визначення ймовірності відповідності засобів вимірювальної техніки метрологічним вимогам

І.П. Захаров<sup>1</sup>, П.І. Неєжмаков<sup>2</sup>, О.А. Боцюра<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна  
newzip@ukr.net

<sup>2</sup>ННЦ «Інститут метрології», вул. Мирносолицька, 42, 61002, Харків, Україна

## Анотація

Аналізуються вимоги стандарту ISO/IEC 17025:2017 щодо документування в сертифікатах калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) інформації про невизначеність вимірювань та заяви про їх відповідність вимогам або специфікаціям. Розглядаються положення європейських та міжнародних нормативних документів, що стосуються оцінки відповідності досліджуваного об'єкта вимогам технічної документації.

Показано, що в деяких випадках результат калібрування ЗВТ при оцінюванні його відповідності метрологічним вимогам може знаходитися у зоні невизначеності. В цих ситуаціях, згідно зі стандартами JCGM 106:2012 та OIML G 19:2017, необхідно оцінювати ймовірність відповідності ЗВТ вимогам технічної документації для того, щоб замовник сам мав можливість визначити ризик подальшого використання цього ЗВТ у виробничій практиці.

Наведено вирази для оцінки ймовірності відповідності ЗВТ метрологічним вимогам для різних законів розподілів вимірюваної величини. Побудовано діаграму, яка дозволяє проводити оперативний контроль ймовірності відповідності відкаліброваного ЗВТ.

Розроблено алгоритм застосування методу Монте-Карло для розрахунку ймовірності відповідності ЗВТ на основі бюджету невизначеності, отриманого під час його калібрування для будь-якого закону розподілу вимірюваної величини.

Наведено приклади розрахунку ймовірності відповідності відкаліброваних засобів вимірювальної техніки метрологічним вимогам, що встановлені в технічній документації.

**Ключові слова:** оцінка відповідності, невизначеність вимірювань, ймовірність відповідності, повірка, калібрування.

Отримано: 10.09.2018

Відредаговано: 25.09.2018

Схвалено до друку: 28.09.2018

## Вступ

Міжнародний словник загальних і базових термінів у галузі метрології (VIM-3) [1] чітко розділяє поняття “калібрування” і “повірка” засобів вимірювальної техніки (ЗВТ):

**2.39. Калібрування (calibration)** — операція, що за певних умов, на першому етапі, встановлює зв'язок між значеннями величин із невизначеностями вимірювання, що забезпечуються еталонами, і відповідними показаннями (ЗВТ, що калібрують) із пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань та, на другому етапі, використовує цю інформацію для встановлення зв'язку з метою отримання результату вимірювання на основі показання (відкаліброваного ЗВТ);

**2.44. Повірка (verification)** — забезпечення об'єктивних доказів того, що даний об'єкт відповідає певним вимогам.

У зв'язку з цим прийнято вважати, що в сертифікаті калібрування ЗВТ, які видані калібрувальною лабораторією (КЛ), акредитованою на

відповідність вимогам стандарту ISO/IEC 17025–2017 [2], в обов'язковому порядку вказується тільки невизначеність вимірювань. Це підтверджує пп. 7.8.4.1 [2]:

“...сертифікат калібрування *зобов'язаний* (shall) включати до себе наступне:

а) невизначеність результату вимірювання, подану в тих самих одиницях, що й вимірювана величина, або у відносних одиницях (наприклад, у відсотках) ”.

Але надалі в цьому ж підпункті сказано:

“е) якщо це є *суттєвим* (were relevant) — заяву про відповідність вимогам або специфікаціям”.

В пп. 7.8.6.1 [2] підкреслюється: “Коли надається заява про відповідність специфікації або стандарту, лабораторія повинна документувати застосоване нею правило прийняття рішення”. З урахуванням п. 3.7: “правило прийняття рішення (decision rule) — правило, яке описує, як враховується невизначеність вимірювання під час встановлення відповідності зазначеним вимогам”.

Тобто, на відміну від попередньої версії стандарту ISO/IEC 17025–2005, яка допускає можливість приведення в сертифікаті калібрування тільки заяви про відповідність без вказівки про невизначеності вимірювань, нова версія стандарту [2] допускає можливість вказівки заяви про відповідність додатково до обов'язково приведеної невизначеності вимірювань.

### Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Оцінка відповідності технічного об'єкта заданим вимогам розглядається в цілому ряді документів європейських і міжнародних організацій [3–9]. Загальною вимогою цих документів є необхідність врахування невизначеності вимірювань при оцінці відповідності. Дійсно, відповідність виробу вимогам технічної документації вважається доведеною, якщо числове значення результату вимірювання знаходиться в межах області відповідності:

$$LSL + U \leq y \leq USL - U,$$

де  $LSL$  і  $USL$  — відповідно нижня і верхня границі поля допуску.

Оцінкою результату вимірювання  $y$  при калібруванні ЗВТ є оцінка систематичної похибки (bias)  $\hat{\Delta}$  показуючого вимірювального приладу (ВП) або дійсне значення (показання) матеріальної міри. При повірці ВП границею поля допуску зазвичай є його максимально допустима похибка (МРЕ). Слід зазначити, що в процесі калібрування ВП основними джерелами невизначеності є: інструментальна невизначеність еталона; поправки на додаткові похибки еталона, пов'язані з його нестабільністю, зміною умов його експлуатації, впливом на еталон каліброваного ЗВТ; розкид показань каліброваного ВП, що спостерігаються; дискретність показань каліброваного ВП [10]. При обліку всіх цих складових розширена невизначеність вимірювань

при калібруванні може виявитися більшою або порівняною з МРЕ, а числове значення результату вимірювання буде виходити за межі області відповідності. Тому в документах [8–9] для такої ситуації пропонується оцінювати ймовірність відповідності за формулою

$$p_c = F_N \left( \frac{MPE - |\hat{\Delta}|}{u} \right),$$

де  $F_N(z)$  — функція нормального стандартного розподілу зі змінною  $z = (MPE - |\hat{\Delta}|)/u$  та стандартною невизначеністю  $u$ .

Для знаходження  $F_N(z)$  [9] пропонують користуватися таблицею нормованого нормального розподілу, що не є зручним. Крім того, при калібруваннях багатьох ВП функція розподілу, що приписується  $\Delta$ , часто є трапецеїдальною, але навіть рівномірною. Це обумовлено тим, що домінуючими джерелами невизначеності каліброваного ЗВТ часто є рівномірно розподілені поправки, такі як поправка, пов'язана з відліком показань [10].

### Мета та завдання дослідження

Метою цієї роботи є розробка підходу до визначення ймовірності відповідності засобу вимірювальної техніки вимогам технічної документації у разі відмінності закону розподілу вимірюваної величини від нормального.

### Ймовірність відповідності для аномальних законів розподілу

Функція трапецеїдального розподілу, яка являє собою композицію двох рівномірних розподілів зі співвідношенням стандартних невизначеностей  $\gamma = u_2/u_1 \leq 1$ , має вигляд [11]:

$$F_{TR}(z) = \begin{cases} 0, & z < -\sqrt{3}(1+\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2}; \\ [z\sqrt{1+\gamma^2} + \sqrt{3}(1+\gamma)]^2/24\gamma, & -\sqrt{3}(1+\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2} \leq z < -\sqrt{3}(1-\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2}; \\ \frac{z\sqrt{1+\gamma^2} + \sqrt{3}}{2\sqrt{3}}, & -\sqrt{3}(1-\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2} \leq z < \sqrt{3}(1-\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2}; \\ 1 - [\sqrt{3}(1+\gamma) - z\sqrt{1+\gamma^2}]^2/24\gamma, & \sqrt{3}(1-\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2} \leq z < \sqrt{3}(1+\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2}; \\ 1, & z \geq \sqrt{3}(1+\gamma)/\sqrt{1+\gamma^2}. \end{cases}$$

При  $\gamma = 1$  функція розподілу становиться трикутною та описується виразом [11]:

$$F_T(z) = \begin{cases} 0, & z < -\sqrt{6}; \\ (z + \sqrt{6})^2/12, & -\sqrt{6} \leq z < 0; \\ 1 - (\sqrt{6} - z)^2/12, & 0 \leq z < \sqrt{6}; \\ 1, & z \geq \sqrt{6}. \end{cases}$$

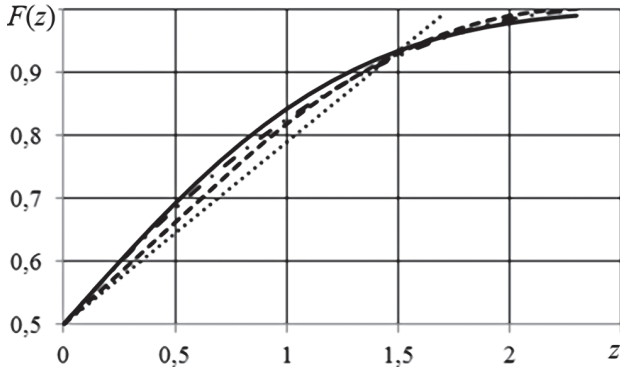
При  $\gamma = 0$  функція розподілу становиться рівномірною та має ще більш простий вигляд [11]:

$$F_R(z) = \begin{cases} 0, & z < -\sqrt{3}; \\ (z + \sqrt{3})/2\sqrt{3}, & z \in [-\sqrt{3}; \sqrt{3}]; \\ 1, & z > \sqrt{3}. \end{cases}$$



На рисунку наведено залежності  $F(z)$  для рівномірного, трикутного, трапецеїдального і нормального законів розподілів, які можна використовувати для оперативного оцінювання ймовірності відповідності.

З рисунка видно, що залежності для трикутного та нормального законів практично співпадають (з похибкою не більше 2 % за ймовірністю), тому замість таблиці зі значеннями нормованого нормального розподілу, наведеної в [9], можна для автоматизації обчислювань використовувати вираз для трикутного закону розподілу.



Залежності  $F(z)$  для рівномірного (···), трапецеїдального (— · —) з  $\gamma=0,5$ , трикутного (— · —) та нормального (—) законів розподілів

### Застосування методу Монте-Карло для визначення ймовірності відповідності для довільних законів розподілу

Для більш складних, ніж розглянуті вище, законів розподілу, для знаходження ймовірності відповідності слід використовувати процедуру Монте-Карло [12], яка полягає у виконанні наступних операцій.

1. Запис модельного рівняння:

$$\Delta = f(X_1, X_2, \dots, X_N),$$

де  $X_1, X_2, \dots, X_N$  — вхідні величини.

2. Оцінювання вхідних величин  $x_1, x_2, \dots, x_N$ .

3. Оцінювання стандартних невизначеностей вхідних величин  $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_N)$ .

4. Призначення функцій щільності ймовірності (PDF) для вхідних величин із математичними сподіваннями  $x_1, x_2, \dots, x_N$  та середніми квадратичними відхиленнями  $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_N)$ .

5. Генерування першої реалізації випадкових значень вхідних величин  $x_{11}, x_{21}, \dots, x_{N1}$  і розрахунок відповідної їм реалізації вимірюваної величини  $\Delta_1$ . Повтор цієї операції  $M \geq 10^4$  разів для отримання  $M$  реалізацій вимірюваної величини  $\Delta_i$ .

6. Обчислення оцінки  $\bar{\Delta}$  вимірюваної величини  $\Delta$  за формулою:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Delta_i.$$

7. Розрахунок  $M$  значень незміщеної оцінки  $\Delta_i^*$  за формулою:

$$\Delta_i^* = \Delta_i - \bar{\Delta}.$$

8. Сортування  $\Delta_i^*$  в порядку зростання для отримання функції розподілу  $F$ .

9. Побудова залежності

$$F = \varphi(100 \cdot i / M),$$

яка відповідає залежності:

$$p_c = F(MPE - |\bar{\Delta}|).$$

10. Для заданих MPE і  $\bar{\Delta}$  знаходження ймовірності відповідності  $p_c$  як значення стовпця  $100 \cdot i / M$ , яке відповідає значенню стовпця  $MPE - |\bar{\Delta}|$ .

### Приклад оцінювання ймовірності відповідності

Оцінимо ймовірність відповідності для розглянутого в [13] прикладу з калібрування штангенциркуля з роздільною здатністю 0,05 мм, яка дорівнює його MPE. Для такого штангенциркуля сумарна стандартна невизначеність вимірювань становила 0,0325 мм, а закон розподілу вимірюваної величини — трапецеїдальний з  $\gamma=0,5$ .

Тому при  $|\hat{\Delta}|=0$  маємо:

$$z = \frac{0,05}{0,0325} = 1,538,$$

що відповідає  $p_c = 0,936 < 0,95$ ;

при  $|\hat{\Delta}|=0,025$  маємо:

$$z = \frac{0,025}{0,0325} = 0,769, \text{ що відповідає } p_c = 0,75;$$

при  $|\hat{\Delta}|=0,05$  маємо:  $z = 0$ , що відповідає  $p_c = 0,5$ .

Звідси випливає, що такий штангенциркуль виявиться непридатним після перевірки навіть у тому випадку, якщо його показання не мають відхилень від значення кінцевої міри довжини.

Якщо знехтувати невинувато завищеною у прикладі [13] невизначеністю, пов'язаною з впливом вимірального зусилля (це справедливо за наявності досвідченого повірника або для штангенциркулів з обмежувачем вимірального зусилля), то це знизить сумарну стандартну невизначеність вимірювань до 0,015 мм і приведе до рівномірного закону розподілу вимірюваної величини.

Для цього випадку при  $|\hat{\Delta}|=0$  маємо:

$$z = \frac{0,05}{0,015} = 3,33 > \sqrt{3}, \text{ що відповідає } p_c = 1;$$

при  $|\hat{\Delta}|=0,025$  маємо:

$$z = \frac{0,025}{0,015} = 1,67 < \sqrt{3},$$

що відповідає  $p_c = 0,98 > 0,95$ ;

при  $|\hat{\Delta}|=0,05$  маємо:  $z=0$ , що відповідає  $p_c = 0,5 < 0,95$ .

Звідси випливає, що придатним з імовірністю більше 0,95 виявиться штангенциркуль у тому випадку, якщо його показання не матимуть відхилень від значення кінцевої міри довжини, які є більшими або дорівнюють 0,5 МРЕ. Практика показує, що кількість таких штангенциркулів становить близько 60 % від тих, що пройшли перевірку. Слід зазначити, що при проведенні звичайної перевірки штангенциркулів придатними вважаються такі, похибка яких не перевищує МРЕ. Таким чином, 40 % повірених штангенциркулів виявляються “придатними” з імовірністю 50 %.

## Висновки

1. Ймовірність відповідності є надійним показником придатності відкаліброваного ЗВТ. Для її обчислення можна скористатися рекомендаціями стандарту OIML G 19:2017 або наведеними в статті формулами для рівномірного, трикутного і трапецеїдального законів розподілу вимірюваної величини, а також процедурою, заснованою

на методі Монте-Карло для більш складних ситуацій.

2. В існуючих нормативних документах на перевірку ЗВТ, за винятком окремих, немає ніяких згадок про невизначеності вимірювань при повірці. Передбачається, що вимоги до процедури перевірки в цих документах складені таким чином, що цією невизначеністю можна знехтувати або її включено в межі поля допуску. Це позбавляє співробітників метрологічних центрів необхідності оцінювання та обліку невизначеності вимірювань при повірці та пояснює їх негативне ставлення до процедури калібрування.

3. Приклади, розглянуті у статті, показують, що при здійсненні перевірки ЗВТ припущення про “ідеальність” процедур перевірки можуть бути безпідставними, а при їх перегляді необхідно було б урахувувати невизначеність проведених вимірювань.

4. Достовірність оцінки відповідності еталонних ЗВТ метрологічним вимогам суттєво залежить від коректності процедур оцінювання невизначеності вимірювання при калібруванні, що вимагає високої кваліфікації співробітників калібрувальних лабораторій, які розробляють ці процедури.

# Определение вероятности соответствия средства измерительной техники метрологическим требованиям

И.П. Захаров<sup>1</sup>, П.И. Неєжмаков<sup>2</sup>, О.А. Боцюра<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, 61166, Харьков, Украина  
newzip@ukr.net

<sup>2</sup>ННЦ “Институт метрологии”, ул. Мироносицкая, 42, 61002, Харьков, Украина

## Аннотация

Анализируются требования стандарта ISO/IEC 17025:2017, затрагивающие указания в сертификате калибровки информации о неопределенности измерений и заявления о соответствии требованиям или спецификациям. Рассматриваются положения европейских и международных нормативных документов, касающихся оценки соответствия исследуемого объекта требованиям технической документации.

Показано, что во многих случаях результат калибровки средства измерительной техники (СИТ) при оценке соответствия метрологическим требованиям может находиться в зоне неопределенности. В этом случае, в соответствии со стандартами JCGM 106:2012 и OIML G 19:2017, необходимо оценивать вероятность соответствия СИТ требованиям технической документации для того, чтобы заказчик сам мог определить риск дальнейшего использования этого СИТ в производственной практике.

Приведены выражения для оценки вероятности соответствия СИТ метрологическим требованиям для различных законов распределений измеряемой величины. Построена диаграмма, которая позволяет проводить оперативный контроль вероятности соответствия откалиброванного СИТ.

Разработан алгоритм применения метода Монте-Карло для расчета вероятности соответствия СИТ на основе бюджета неопределенности, полученного во время его калибровки для любого закона распределения измеряемой величины.

Приведены примеры расчета вероятности соответствия откалиброванных средств измерительной техники метрологическим требованиям, установленным в технической документации.

**Ключевые слова:** оценка соответствия, неопределенность измерений, вероятность соответствия, поверка, калибровка.

# Determination of the probability of compliance of the measuring instruments with the metrological requirements

I.P. Zakharov<sup>1</sup>, P.I. Neyezhnikov<sup>2</sup>, O.A. Botsiura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave., 14, 61166, Kharkiv, Ukraine  
newzip@ukr.net

<sup>2</sup>National Scientific Centre "Institute of metrology", Myronosytska Str. 42, 61002, Kharkiv, Ukraine

## Abstract

The requirements of ISO/IEC 17025:2017, which affect the indication of the information about measurement uncertainty and statement of compliance with the requirements or specifications in the calibration certificates of measuring instruments (MIs), are analyzed. The provisions of European and International reference documents concerning the conformity assessment of the investigated object with the requirements of the technical documentation are considered.

It has been shown that in some cases the result of calibration of a MI in its compliance assessment with metrological requirements may be in the uncertainty zone. In these situations, in accordance with JCGM 106:2012 and OIML G 19:2017, it is necessary to assess the probability of compliance of the MI with the requirements of the technical documentation in order for the customer to determine the risk of further use of this MI in production practice.

Expressions for assessing the probability of compliance of MI with metrological requirements for different distribution laws of the measurand are presented. The diagram, which allows carrying out operative control of probability of compliance of calibrated MI, is constructed.

An algorithm for applying the Monte Carlo method to calculate the probability of a MI correspondence based on the uncertainty budget obtained during its calibration for any law of the distribution of the measurand is developed.

Examples for calculating the probability of compliance of calibrated measuring instruments with the metrological requirements established in the technical documentation are given.

**Keywords:** conformity assessment, uncertainty of measurement, probability of compliance, verification, calibration.

## Список літератури

1. International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). 3rd Edition, 2007. 146 p.
2. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2017. 38 p.
3. EURACHEM/CITAC Guide CG4, 3rd Edition (2012). Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Available at: <http://www.citac.cc/guides.html>
4. ISO 10576-1:2003(E). Statistical methods — Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. Part 1: General principles. ISO, Geneva, Switzerland, 2003. 15 p.
5. EURACHEM/CITAC Guide, First Edition (2007). Use of uncertainty information in compliance assessment. Available at: <http://www.citac.cc/guides.html>
6. ISO 14253-1:2013(E). Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 1: Decision rules for proving conformity or nonconformity with specifications. ISO, Geneva, Switzerland, 2013. 15 p.
7. Determination of conformance with specifications or limit values with particular reference to measurement uncertainties — possible strategies. EUROLAB "Cook Book", 2008. Doc no. 8.0. Available at: [www.eurolab.org/documents/Cook-book\\_No\\_8.pdf](http://www.eurolab.org/documents/Cook-book_No_8.pdf).
8. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment. Joint Committee for Guides in Metrology, 2012.
9. OIML G 19:2017(E). The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology. International Organization of Legal Metrology, France, Paris, 2017. 72 p.
10. Zakharov I. P., Vodotyka S. V., Shevchenko E. N. Methods, models, and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration. *Measurement Techniques*, July, 2011, vol. 54, no. 4, pp. 387–399.
11. Zakharov I., Neyezhnikov P. Peculiarity of measurement instruments verification by results of their calibrations. *Measurement-2017: Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference* (Smolenice, Slovakia, May 29–31, 2017). Institute of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, 2017, pp. 19–22.
12. Zakharov I., Neyezhnikov P., Botsiura O. Compliance probability determination on basis of the Monte Carlo method. *Metrology and Metrology Assurance 2017: Proceedings of 27-th International Scientific Symposium* (Sozopol, Bulgaria, Sep-

tember 8–12, 2017). Sozopol, Bulgaria, 2017, pp. 37–39.

13. EA-4/02 M:2013. Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. EA Laboratory Committee, 2013. 75 p.

## References

1. International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). 3rd Edition, 2007. 146 p.
2. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2017. 38 p.
3. EURACHEM/CITAC Guide CG4, 3rd Edition (2012). Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Available at: <http://www.citac.cc/guides.html>
4. ISO 10576–1:2003(E). Statistical methods — Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. Part 1: General principles. ISO, Geneva, Switzerland, 2003. 15 p.
5. EURACHEM/CITAC Guide, First Edition (2007). Use of uncertainty information in compliance assessment. Available at: <http://www.citac.cc/guides.html>
6. ISO 14253–1:2013(E). Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 1: Decision rules for proving conformity or nonconformity with specifications. ISO, Geneva, Switzerland, 2013. 15 p.
7. Determination of conformance with specifications or limit values with particular reference to

measurement uncertainties — possible strategies. EUROLAB “Cook Book”, 2008. Doc no. 8.0. Available at: [www.eurolab.org/documents/Cook-book\\_No\\_8.pdf](http://www.eurolab.org/documents/Cook-book_No_8.pdf).

8. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment. Joint Committee for Guides in Metrology, 2012.
9. OIML G 19:2017(E). The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology. International Organization of Legal Metrology, France, Paris, 2017. 72 p.
10. Zakharov I. P., Vodotyka S. V., Shevchenko E. N. Methods, models, and budgets for estimation of measurement uncertainty during calibration. *Measurement Techniques*, July, 2011, vol. 54, no. 4, pp. 387–399.
11. Zakharov I., Neyezhnikov P. Peculiarity of measurement instruments verification by results of their calibrations. *Measurement-2017: Proceedings of the 11th International Conference* (Smolenice, Slovakia, May 29–31, 2017). Institute of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, 2017, pp. 19–22.
12. Zakharov I., Neyezhnikov P., Botsyura O. Compliance probability determination on basis of the Monte Carlo method. *Metrology and Metrology Assurance 2017: Proceedings of 27-th International Scientific Symposium* (Sozopol, Bulgaria, September 8–12, 2017). Sozopol, Bulgaria, 2017, pp. 37–39.
13. EA-4/02 M:2013. Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration. EA Laboratory Committee, 2013. 75 p.