

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-38-41>

УДК 389.62

ІНФОРМАЦІЙНА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ, ЩО КАЛІБРУЮТЬСЯ

Манко Г.І., Тітова О.В., Кравець В.І., Іброхімова А.А.

INFORMATION UNCERTAINTY OF THE CALIBRATED MEASUREMENTS INSTRUMENTS

Manko G.I., Titova E.V., Kravets V.I., Ibrokhimova A.A.

Концепція невизначеності стала стандартом у метрології. Вітчизняні та міжнародні нормативні документи передбачають застосування процедур оцінки невизначеності в ході калібрування засобів вимірювання. У цій статті розглядаються проблеми використання концепції невизначеності в процесі калібрування. Відмічено, що в ряді дослідницьких робіт показані слабкі сторони рекомендованих підходів до оцінки невизначеності та пропонується використання альтернативних методів оцінки.

Разом з тим, поняття невизначеності має безпосередній зв'язок із методами оцінки кількості інформації. Тому є доцільним використанням інформаційної невизначеності при калібруванні засобів вимірювання.

Показано, що має місце колізія між намаганням авторів нормативних документів слідувати модним течіям у метрології та прозою життя, що складається у необхідності вирішення реальних практичних завдань оцінки придатності каліброваних приладів. Для розв'язання цієї колізії запропоновано використовувати інформаційні критерії, що базуються на поняттях корисної інформації Бонгарда. Якість засобів вимірювання можна характеризувати невизначеністю Бонгарда, яка оцінює відмінність розподілу ймовірностей вимірюваної величини від розподілу ймовірностей результатів вимірів. Якщо ці розподіли є однаковими, невизначеність щодо значень вимірюваної величини може бути охарактеризована інформаційною ентропією Шеннона. Внаслідок недосконалої засобів вимірювання вноситься дезінформація (негативна корисна інформація Бонгарда), яка оцінюється різницею невизначеності Бонгарда та ентропії Шеннона. Максимальна кількість дезінформації відповідає випадкам нульової апріорної невизначеності вимірюваної величини, тобто нульовій ентропії. Відношення кількості дезінформації, отриманої при вимірах, до максимально можливої кількості, являє собою відносну інформаційну невизначеність засобів вимірювання. Якщо це буде виражено у відсотках, то вона буде служити кількісною характеристикою якості засобів вимірювань і може бути повноцінною заміною традиційного класу точності в повній відповідності до концепції невизначеності.

Ключові слова: калібрування, концепція невизначеності, закон розподілу, вимірювання, інформаційна невизначеність.

*Neurosis is the inability to tolerate uncertainty
Sigmund Freud*

Вступ. Відповідно до ДСТУ ISO / IEC 17025: 2017 [1], «Лабораторія, що здійснює калібрування, в тому числі власного обладнання, повинна оцінювати невизначеність вимірювання для всіх калібрувань».

Основним нормативним посібником з оцінювання невизначеності в ході калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є документ Європейських організацій з акредитації EA-4/02 [2]. У преамбулі до нього вказується, що «Він повинен встановлювати спеціальні вимоги, які повинні пред'являтися до вказівкою невизначеності вимірювань в свідченнях калібрівки, що видаються акредитованими лабораторіями, і він також повинен одночасно сприяти Органам з акредитації в єдиній (уніфікованій) вказівці найменших, що видаються, невизначеностей вимірювань в акредитованих ними калібрувальних лабораторіях». Представлене в цьому документі трактування повністю відповідає Керівництву з вираження невизначеності вимірювання [3, 4], і тому на EA-4/02 поширюються всі обмеження, властиві GUM:

- допущення, що випадкова величина повністю характеризується стандартним відхиленням, що не справедливо, коли реальний закон розподілу істотно відрізняється від нормального;
- застосовність лише для лінійних (або добре лінеаризованих) модельних функцій;
- у багатьох випадках не виправдано завищені оцінки невизначеності.

В роботі [5] ставиться питання про відповідність калібрування за GUM головній меті забезпечення єдності вимірювань. Стверджується, що впровадження GUM не підвищило якості вимірювань, але привернуло увагу до проблеми достовірності результатів. При цьому стаття [5] ставить проблему, але не пропонує шляхів її вирішення.

Як показано в [6], в даний час, крім загальноприйнятого закону поширення невизначеності, що ле-

жить в основі філософії GUM і є однією з реалізацій модельного підходу, існують альтернативні методи оцінювання невизначеності, які мають свою достовірність і діапазони застосовності. Зокрема, альтернативні методи розглянуті в технічному звіті EUROLAB 1/2007 "Перегляд невизначеності вимірювання: Альтернативні підходи до оцінювання невизначеності" [7]. Тут виконана класифікація підходів до оцінювання невизначеності. Як альтернативні запропоновані експериментальні підходи до оцінювання точності вимірювань, що базуються на результатах внутрішньолабораторних і міжлабораторних випробувань.

У [8] зазначається, що в даний час існує два основні підходи до оцінювання невизначеності вимірювань: Неймановський (частотний) і байєсівський (суб'єктивний). Відповідно до байєсівського підходу оцінюваному параметру (вимірюваній величині) може бути зіставлена густина розподілу ймовірностей її можливих значень і, як показує практика, оцінки невизначеності при малому числі вимірювань при використанні байєсівського підходу більш достовірні. Тому актуальним завданням є розробка методів оцінювання невизначеності вимірювань, заснованих на такому підході.

Для кількісної оцінки невизначеності природним є використання інформаційних критеріїв, оскільки інформацію зазвичай розглядають як міру зменшення невизначеності знань про будь-який об'єкт у процесі його пізнання. В [9] запропоновано використовувати поняття ентропії випадкової величини як міри невизначеності (множинної сукупності її можливих значень), для вибору оптимальної кількості вимірів і класу точності ЗВТ. У роботах [10] та [11] введено поняття інформаційної невизначеності і запропоновані методи її вимірювання.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання інформаційної невизначеності під час калібрування засобів вимірювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно ДСТУ 2681-94 калібрування – це сукупність операцій, які виконуються з метою визначення метрологічних характеристик і придатності засобів вимірювальної техніки до використання в певних умовах.

Як метрологічні характеристики можуть виступати значення мір, похибки (систематичні) вимірювальних приладів, відхилення від номінальних значень калібрувальних характеристик ЗВТ та ін. При виконанні калібрування ЗВТ метрологічні характеристики повинні вказуватися з відповідними невизначеностями.

Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [12], передбачає два етапи калібрування:

- на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, які забезпечуються еталонами з властивою їм невизначеністю вимірювань, і відповідними показаннями ЗВТ з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань;

- на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показань.

При калібруванні відбувається передача розміру одиниці величини, що відтворюється та/або зберігається еталонами, засобу вимірювання шляхом визначення співвідношення між значеннями величини, отриманими із застосуванням еталона, і відповідними показаннями каліброваного ЗВТ.

Відповідно до ЕА-4/02 оцінювання результату вимірювань і його невизначеності починається зі складання рівняння вимірювань, після оцінюють вхідні і вихідні величин та їх невизначеності. Наостанок складають результат невизначеності у вигляді таблиць, які включають в себе опис складових рівняння вимірювання та вклади, які вносять кожна зі складових в загальну оцінку невизначеності. Останній етап калібрування – оформлення та представлення результатів. В ЕА рекомендується в свідцтві калібрування вказувати повний результат вимірювання, який складається з оцінки у вимірюваній величині і пов'язаної з нею розширеної невизначеності вимірювання U і представляється в формі $y \pm U$. При цьому залишається відкритим питання, як це використовувати для визначення придатності засобу вимірювальної техніки до використання.

Таким чином, виникає колізія між прагненням авторів нормативних документів слідувати модним течіям в метрології і прозою життя, що полягає в необхідності вирішення безлічі реальних завдань, для яких поколіннями метрологів були вироблені рішення на основі усталених понять.

Спробами вирішення цієї колізії займається Регіональна метрологічна організація КООМЕТ. Рекомендація [13] являє собою еkleктику двох підходів: традиційного і нового. Зокрема, в п. 5.1.5 вказується: «При калібруванні засобів вимірювальної техніки встановлюють за певних умов співвідношення між значеннями величини за показаннями засобу вимірювання і відповідними значеннями, реалізованими за допомогою еталона. За результатами калібрування можуть бути внесені поправки до показань засобів вимірювання або уточнені значення, реалізовані засобами вимірювання. Показником точності визначення метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки під час калібрування є невизначеність. Але в сусідньому п. 5.1.6 читаємо: «Нормування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки здійснюють, оперуючи поняттям "похибка" або "клас точності"». Як загальна рекомендація пропонується точність результатів вимірювання в більшості метрологічних завдань характеризувати невизначеністю, а точність засобів вимірювань характеризувати межами похибок.

У багатьох підручниках клас точності називають основною метрологічною характеристикою СІ. Відмова від цієї характеристики веде до появи маси незручностей в практичній діяльності. Що, наприклад, показувати на шкалах стрілочних приладів замість таких звичних позначень типу «1,0»?

Для вирішення описаної колізії раціонально використовувати інформаційні критерії, які базуються на понятті корисної інформації Бонгарда [14]. Бонгард пов'язує міру корисності повідомлення з завданням, яке вирішує одержувач, із запасом його знань до приходу повідомлення і способом тлумачення повідомлення. Згідно Бонгарду, невизначеність певного завдання з розподілом ймовірностей $P = \{p_j\}$ для спостерігача, що виходить із гіпотези, що має місце розподіл $Q = \{q_j\}$, оцінюється виразом:

$$N(p/q) = \sum_j p_j \log q_j. \quad (1)$$

В [10] запропоновано розглядати (1) як інформаційну невизначеність зміни величини, що має розподіл ймовірностей $P = \{p_j\}$, якщо розподілом ймовірностей результатів вимірювань є $Q = \{q_j\}$. Показано, що такій оцінці невизначеності вищеописані обмеження GUM не є властивими.

Якщо спостерігач отримує ззовні деяке повідомлення, що змінює вихідну (апостеріорну) невизначеність завдання у вигляді ентропії $H(p)$ на апостеріорну невизначеність $N(p/q)$, то корисна інформація, яка міститься в повідомленні, є різницею невизначеностей:

$$I_k = H(p) - N(p/q) = \sum_j p_j \log(q_j / p_j). \quad (2)$$

Апостеріорна невизначеність $N(p/q)$ може бути, як меншою, так і більшою, ніж апостеріорна $H(p)$. В останньому випадку повідомлення несе дезінформацію для спостерігача.

Реальні засоби і методи вимірювань завжди вносять дезінформацію (негативну корисну інформацію) в кількості:

$$D = N(p/q) - H(p) = \sum_j p_j \log(p_j / q_j). \quad (3)$$

Характеристикою якості ЗВТ може служити відношення дезінформації, що вноситься ним, до максимально можливої кількості, яка має місце тоді, коли від'ємник в різниці (3) дорівнює нулю:

$$D_{\max} = N(p/q) = \sum_j p_j \log q_j. \quad (4)$$

Таким чином, маємо відносну інформаційну невизначеність:

$$v = \frac{D}{D_{\max}} = 1 - \frac{\sum_j p_j \log p_j}{\sum_j p_j \log q_j}. \quad (5)$$

Очевидно, що відносна невизначеність змінюється в інтервалі $[0; 1]$. Якщо v прагне до нуля, то

невизначеність зникає, засіб вимірювання є ідеальним.

Цей показник слід виражати у відсотках, для чого отриманий результат досить помножити на 100.

Висновки. Відносна інформаційна невизначеність (5) може з'явитися повноцінною заміною традиційного класу точності. Її значення необхідно вказувати в технічній документації на ЗВТ. Не складе проблеми і вказівка її на шкалах приладів. Згодом, коли концепція невизначеності остаточно утвердиться, то, можливо, відносна невизначеність v стане основною метрологічною характеристикою, замінивши звичний нам термін «клас точності».

Література

1. ДСТУ ISO/IEC 17025: 2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025: 2017, IDT).
2. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. – EA, 1999. – 79 p.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - Geneva : ISO, 1993. – 101 p.
4. РМГ 43-2001. Рекомендации по межгосударственной стандартизации, ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
5. Левин, С.Ф. Концепция неопределенности и теория погрешностей: философия и математика / С.Ф. Левин // Український метрологічний журнал. – 2019. – № 2. – С. 16-29.
6. Захаров, И.П. Оценивание неопределенности измерений: 10 лет спустя / И.П.Захаров // Системи обробки інформації. – Харків, 2013. – Вип. 3. – С. 2–7.
7. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation. EUROLAB Technical Report No. 1/2007. – 62 p.
8. Боцюра, О.А. Ревизия GUM: проблемы и пути решения / О.А. Боцюра, И.П. Захаров // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія та вимірювальна техніка (МЕТРОЛОГІЯ – 2014)». – Харків, 2014. – С. 31–34.
9. Игнаткин, В.У. Оценивание неопределенности при выборе оптимального количества измерений и класса точности средств измерительной техники / В.У. Игнаткин, Л.М. Виткин, В.А. Литвиненко, О.И. Белый // Системи обробки інформації. – Харків, 2009. – Вип. 5. – С. 33–36.
10. Манко, Г.И. Использование информационных характеристик для оценки неопределенности измерений / Г.И. Манко, Н.С. Шевчук // Системи обробки інформації. – Харків, 2008. – Вип. 8. – С. 82–84.
11. Манко, Г.И. Методы оценки информационной неопределенности средств измерений / Г.И. Манко, Н.С. Шевчук, Н.А. Минакова, Е.В. Лещенко // Системи обробки інформації. – Харків, 2009. – Вип. 3. – С. 46–49.
12. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» // Відомості Верховної Ради, 2014. – № 30. – С. 1008.
13. СОМЕТ R/GM/21:2011. Использование понятий “погрешность измерения” и “неопределенность измерения”. Общие принципы.
14. Бонгард М.М. Проблемы узнавания. – М.: Наука, 1967 – 320 с

References

1. DSTU ISO/IEC 17025:2017 Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii (ISO/IEC 17025:2017, IDT).
2. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. EA, 1999. 79 p.
3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - Geneva : ISO, 1993. 101 p.
4. RMH 43-2001. Rekomendatsyy po mezhhosudarstvennoi standartyzatsyyi, HSY. Prymenenye «Rukovodstva po vyrazheniyu neopredelennosti yzmereniy».
5. Levyn, S.F. Kontseptsyia neopredelennosti y teoryia pohreshnosti: fylosofiya y matematyka / S.F. Levyn // Ukrainskiy metrolohichnyi zhurnal. 2019. # 2. S. 16-29.
6. Zakharov, Y.P. Otsenyvanye neopredelennosti yzmereniy: 10 let spustia / Y.P.Zakharov // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2013. Vyp. 3. S. 2-7.
7. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation. EUROLAB Technical Report No. 1/2007. 62 p.
8. Botsiura, O.A.Revyziya GUM: problemy y puty resheniya / O.A. Botsiura, Y.P. Zakharov // IX Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Metrolohiia ta vymiriuvalna tekhnika (METROLOHIIA – 2014)». Kharkiv, 2014. S. 31-34.
9. Yhnatkyn, V.U. Otsenyvanye neopredelennosti pry vyboire optymalnogo kolychestva yzmereniy y klasa tochnosti sredstv yzmeritelnoi tekhniky / V.U. Yhnatkyn, L.M. Vytkyn, V.A. Lytvynenko, O.Y. Belyi // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2009. Vyp. 5. S. 33-36. Zakon Ukrainy «O metrologii i metrologicheskomy upravlenii» // Vidomosti Verkhovnoi Rady, 2014. - № 30. - S. 1008.
10. Manko, H.Y. Yspolzovanye ynformatsyonnykh kharakterystyk dlia otsenky neopredelennosti yzmereniy / H.Y. Manko, N.S. Shevchuk // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2008. Vyp. 8. S. 82-84.
11. Manko, H.Y. Metody otsenky ynformatsyonnoi neopredelennosti sredstv yzmereniy / H.Y. Manko, N.S. Shevchuk, N.A. Mynakova, E.V. Leshchenko // Systemy obrobky informatsii. Kharkiv, 2009. Vyp. 3. S. 46-49.
12. Zakon Ukrainy «Pro metrolohiuu ta metrolohichnu diialnist» // Vidomosti Verkhovnoi Rady, 2014. # 30. S. 1008.
13. COOMET R/GM/21:2011. Yspolzovanye ponyatiy "pohreshnost yzmereniy" y "neopredelennost yzmereniy". Obshchye pryntsypy.
14. Bonhard M.M. Problemy uznavaniya. M.: Nauka, 1967. 320 s.

Manko G.I., Titova E.V., Kravets V.I., Ibrokhimova A.A. Information Uncertainty Of The Calibrated Measuring Instruments.

The Uncertainty Approach has become a standard in metrology. Ukrainian and international regulatory documents prescribe the application of the uncertainty assessment procedure during the calibration of measuring instruments. This paper discusses the problems of using of the Uncertainty Approach during calibration. There is noted that in a number of research works the weaknesses of the recommended ap-

proaches to uncertainty assessment are shown, and the use of alternative methods of its estimation is recommended.

At the same time, the concept of uncertainty is directly related to methods of the information amount estimation. Therefore, it is advisable to use information uncertainty when calibrating of measuring instruments.

It is shown that there is a conflict between the desire of the authors of normative documents to follow fashionable trends in metrology and the prose of life, which consists in the need to solve real practical problems of assessing of the calibrated instruments suitability. To resolve this conflict, it is proposed to use information criteria, which are based on the concept of Bongard's useful information. The quality of a measuring instrument can be characterized by the Bongard uncertainty, which estimates the difference between the probability distribution of the measured quantity and the probability distribution of the measurement results. If these distributions coincided, the uncertainty about the values of the measured quantity could be estimated by the Shannon informational entropy. Due to the imperfection of the measuring instrument, disinformation is introduced (negative useful information of Bongard), which is estimated by the difference between Bongard's uncertainty and Shannon's entropy. The maximum amount of disinformation corresponds to the case of zero prior uncertainty of the measured value i.e. zero entropy. The ratio of the amount of disinformation obtained during measurements to the maximum possible amount is the relative information uncertainty of the measuring instrument. If expressed as a percentage, then it will serve as a quantitative characteristic of the measuring instruments quality and it can be a full replacement for the traditional accuracy class in full accordance with the Uncertainty Approach.

Keywords: calibration, concept of uncertainty, distribution law, measurement, information uncertainty.

Манко Геннадій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).
e-mail: bsoft@a-teleport.com

Тітова Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).
e-mail: elenatitova@gmail.com

Кравець Василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна),
e-mail: kravets_vi@outlook.com

Іброхімова Аліка Аїнідівівна – студент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).
e-mail: nilufkaibroh99@gmail.com

Стаття подана 10.08.2021.