УДК 621.317.1

О. М. Величко, д.т.н., Т. Б. Гордієнко, д.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

АЛЬТЕРНАТИВНЕ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛЮЧОВИХ ЗВІРЕНЬ НАЦІОНАЛЬНИХ ЕТАЛОНІВ

У статті представлено запропоноване альтернативне оцінювання результатів ключових звірень еталонів, яке спрощує проведення аналізу сервісів калібрування національних метрологічних інститутів (НМІ). Воно передбачає застосування як критерія сумісності отриманих результатів звірень показника E_n для аналізу ступеня еквівалентності еталону НМІ та відповідної розширеної невизначеності. Розглянуто практичне застосування запропонованого оцінювання для результатів ключових звірень еталонів електричної потужності. Це сприяє більш раціональному калібруванню робочих еталонів для конкретних встановлених цілей як для НМІ, так і акредитованих лабораторій.

Ключові слова: звірення еталонів, національний метрологічний інститут, регіональна метрологічна організація, невизначеність вимірювань, методи оцінювання результатів звірень.

О. Н. Величко, д.т.н., Т. Б. Гордиенко, д.т.н.

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КЛЮЧЕВЫХ СЛИЧЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ

В статье представлена предложенная альтернативная оценка результатов ключевых сличений эталонов, которая упрощает проведение анализа сервисов калибровки национальных метрологических институтов (НМИ). Она предусматривает применение как критерия совместимости полученных результатов сверок показателя E_n для анализа степени эквивалентности эталона НМИ и соответствующей расширенной неопределенности. Рассмотрено практическое применение предложенной оценки для результатов ключевых сличений эталонов электрической мощности. Это способствует более рациональной калибровке рабочих эталонов для конкретных поставленных целей как для НМИ и аккредитованных лабораторий.

Ключевые слова: сличения эталонов, национальный метрологический институт, региональная метрологическая организация, неопределенность измерений, методы оценки результатов сличений.

О. М. Velychko, DSc, T. B. Gordiyenko, DSc

ALTERNATIVE EVALUATION THE RESULTS OF KEY COMPARISONS OF NATIONAL STANDARDS

In the framework of the Agreement of International Committee on Weights and Measures on Mutual Recognition of national standards, calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes (NMIs), key comparisons serve as the basis for establishing calibration and measurement capabilities of NMI with implemented quality management system. On this basis, the competence of a specific NMI to perform calibration of working standards and measuring instruments for the customer laboratories is determined. In order to attract as many NMIs as possible to participate in key comparisons of standards, Regional Metrology Organizations are widely involved in conducting such comparisons.

The practical application of traditional evaluation the results of key standards comparisons and displaying them in the special database of key comparisons (KCDB) of International Bureau on Weights and Measures (BIPM) may be difficult for some NMIs and for national laboratories accredited by national accreditation bodies that wish to use NMI calibration services. This is due to the fact that the KCDB BIPM only displays the degree of equivalence of a NMI standard with corresponding expanded uncertainty without any other characteristics for evaluating calibration or measurement capabilities.

The paper presents a proposed alternative evaluation of results of key comparisons of standards, which simplifies the analysis of calibration services by NMIs. It envisages the use as a criterion of consistency of the results obtained from the comparisons of the E_n index to analyze the degree of equivalence of the NMI

standard and the corresponding extended uncertainty. The practical application of the evaluation for results of key comparisons of standards of electric power is considered. This contributes to a more streamlined calibration of work standards for specific established purposes for both NMIs and accredited laboratories.

Keywords: *comparison of standards, national metrology institute, regional metrology organization, uncertainty of measurements, methods of estimation of results of comparison.*

DOI 10.32684/2412-5288-2020-1-16-15-20

Вступ

В рамках Угоди Міжнародного комітету з мір і ваг (CIPM) про взаємне визнання (MRA) національних стандартів, калібрувальних і вимірювальних сертифікатів, виданих НМІ [1] ключові звірення виступають основою для встановлення калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС) конкретного НМІ з впровадженням системою менеджменту якості. На підставі цього визначається компетенція конкретного НМІ для проведення калібрування робочих еталонів і засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для лабораторій-замовників.

Для реалізації основних завдань Угоди CIPM MRA розроблена низка документів і настанов, зокрема з питань проведення міжнародних звірень еталонів, що зберігаються в НМІ, для розгляду та схвалення СМС НМІ [2, 3]. При цьому важливу роль у поданні як результатів звірень еталонів, так і подання СМС відіграє оцінювання невизначеності вимірювань за настановою [4]. Вся необхідна інформація як щодо міжнародних звірень еталонів, так і щодо СМС НМІ в рамках Угоди CIPM MRA розміщена у спеціальній базі даних ключових звірень (KCDB) [5], яку веде Міжнародне бюро з мір і ваг (BIPM).

З метою залучення максимально можливої кількості НМІ до участі у ключових звірваннях еталонів, до проведення таких звірень широко долучені регіональні метрологічні організації (РМО). Їхні результати, отримані за встановленими в рамках Угоди CIPM MRA [6] та теоретично обґрунтованими у науковій літературі методологіями оцінювання, зокрема у [7-9], відображаються у KCDB BIPM у спеціальній формі, яку можна назвати традиційною.

Відомі окремі спроби розроблення альтернативного оцінювання результатів звірення еталонів, спрямовані як на підвищення достовірності їхніх результатів [10] на основі застосування методу агрегування переваг, так і на розширення бази для розроблення СМС НМІ за рахунок міжнародних додаткових звірень еталонів [11-14].

В той же час залишається актуальним питання розроблення нових і удосконалення існуючих підходів до оцінювання результатів звірень

еталонів.

Аналіз публікацій та досліджень

Практичне застосування традиційного оцінювання результатів ключових звірень еталонів [6-9] та їх відображення у KCDB BIPM може викликати труднощі як для деяких НМІ, так і для акредитованих національними органами акредитації лабораторій, які хочуть скористатися послугами калібрування НМІ, що мають СМС. Це пов'язано з тим, що у KCDB BIPM відображаються лише ступінь еквівалентності еталону НМІ з відповідною розширеною невизначеністю без будь-яких інших характеристик для оцінювання можливостей калібрування чи вимірювання.

Це саме стосується і альтернативного оцінювання [10], яке сконцентрована лише на підвищенні достовірності результатів звірень з аналогічним традиційному відображенням отриманих результатів, тобто лише тієї ж ступені еквівалентності еталону НМІ з відповідною розширеною невизначеністю. Це стосується і альтернативного оцінювання [11-14], яке також враховує результати додаткових звірень еталонів з традиційним відображенням отриманих результатів.

Постановка завдання

Метою дослідження є розроблення підходів до альтернативного оцінювання результатів ключових звірень еталонів, яка б значно спростила аналіз сервісів калібрування НМІ, що мають опубліковані СМС у KCDB BIPM. Це буде сприяти більш раціональному калібруванню робочих еталонів і ЗВТ для конкретних встановлених цілей як для НМІ, що не мають таких СМС, так і для акредитованих лабораторій.

Методи дослідження

Для забезпечення сумісності розроблюваного альтернативного оцінювання результатів звірень еталонів доцільно застосувати традиційно використовуваний ступінь еквівалентності еталону НМІ з відповідною розширеною невизначеністю.

Традиційне оцінювання ступенів еквівалентності еталонів НМІ, що брали участь у ключових звірваннях еталонів, можна розглянути на прикладі ключових звірень еталонів електричної потужності. Такий вибір пов'язаний з тим, що

такі звірення проводилися як Консультативним комітетом з електрики та магнетизму (CCEM) CIPM, так і ще трьома РМО: EURAMET (два звірення у різний час) та SIM і COOMET (по одному звіренню). Таким чином, для проведення аналізу можна використати доволі широкую базу результатів звірень.

Всі отримані результати ключових звірень РМО (проекти EURAMET.EM-K5&5.1, SIM.EM-K5 і COOMET.EM-K5) зв'язуються між собою на основі результатів ключових звірень CCEM-K5 [4]. Традиційне відображення всі зв'язаних результатів (всього 57 для 53 НМІ різних країн) наведено на рис. 1. Тут відображені ступені еквівалентності еталонів електричної потужності для коефіцієнта потужності 1,0 на частоті 53 Гц для НМІ, що брали участі у всіх звірваннях.

Зазначені результати звірень для НМІ згруповані лише за проектами звірень, а не за ступенями еквівалентності еталонів НМІ D_i чи розширеними невизначеностями $U(D_i)$ еталонів НМІ. Вони відображаються у спеціальних таблицях СМС для НМІ-учасників звірень у відповідності до отриманих результатів звірень і зв'язку із звірванням CCEM-K5.

Це приводить до певних складнощів аналізу сервісів калібрування НМІ, що мають опубліковані СМС у KCDB BIPM, як для НМІ,

що не мають таких СМС, так і для акредитованих лабораторій. Виникає необхідність розгляду більше 50 спеціальних таблиць СМС для НМІ-учасників звірень і знаходження критерію вибору калібрувального сервісу конкретного НМІ для встановлених завдань.

Зважаючи на зазначене, запропоноване альтернативне оцінювання результатів ключових звірень еталонів, при якому застосовано як критерій сумісності показник E_n для аналізу ступеня еквівалентності еталону НМІ та відповідної розширеної невизначеності. Крім того, відображення результатів звірень для відповідного НМІ здійснюється окремо для ступеня відповідності еталона і його розширеної невизначеності та значення показника E_n .

Результати досліджень

Для ключових звірень еталонів електричної потужності (табл. 1) пропонується відображати результати НМІ із застосуванням пелюсткової діаграми (рис. 2) з доповненням її гістограмою значень показника E_n для кожного НМІ (рис. 3).

На пелюстковій діаграмі синьою суцільною лінією відображені значення ступенів еквівалентності еталонів НМІ D_i , зеленою штриховою лінією – розширені невизначеності $U(D_i)$ еталонів НМІ, червоною точковою лінією – нульове значення для ступенів еквівалентності та розширеної невизначеності.

Рисунок 1 – Ступені еквівалентності еталонів електричної потужності для коефіцієнта потужності 1,0 на частоті 53 Гц

Таблиця 1 – Зв'язані результати ключових звірень

HMI	D_i	$U(D_i)$	E_n
NIST	-7	12	0,58
NMIA	-1	14	0,07
NPL	8	32	0,25
INRIM	-7	30	0,23
INTI	15	20	0,75
VNIIM	10	18	0,56
NRC	-4	14	0,29
NMC, A*STAR	22	62	0,35
PTB	0	10	0,00
IN METRO	-9	60	0,15
CENAM	4	34	0,12
NIM	-1	12	0,08
MSL	-2	28	0,07
NMISA	-12	80	0,15
SP	1	30	0,03
AREPA	-1	97	0,01
INETI	-3	76	0,04
SMD	54	46	1,17
BEV	-58	75	0,77
METAS	-13	60	0,22
CMI	6	75	0,08
MKEH	47	172	0,27
JV	29	74	0,39
CEM	-2	71	0,03
GUM	23	80	0,29
MIKES	42	43	0,98
VSL1	18	27	0,67
UME1	15	77	0,19
UME2	0	25	0,00
BIM	-14	74	0,19
SMU1	16	60	0,27
MKEH	8	64	0,13
INM (RO)	24	83	0,29
DMDM	23	48	0,48
MIKES	6	35	0,17
VSL2	-15	19	0,79
NPLI	-15	81	0,19
LNE	5	32	0,16
UMTS	18	34	0,53
UTE	9	23	0,39
CENAMEP AIP	8	63	0,13
INM (CO)	14	111	0,13
UMTS1	3	19	0,16
BelGIM	1	42	0,03
UME3	-7	22	0,32
GEOSTM	17	90	0,19
MASM	3	75	0,04
SMU2	-51	57	0,89
QCC EMI	-8	22	0,37
NIS	-6	36	0,15
SASO-NMCC	-16	39	0,40

Розрахунок показників E_n для всіх НМІ-учасників ключових звірень здійснюється за виразом

$$E_n = |D_i| / U(D_i), \quad (1)$$

де D_i – ступінь еквівалентності еталона НМІ;
 $U(D_i)$ – розширена невизначеність еталону НМІ.

Пропоноване альтернативне оцінювання результатів ключових звірень еталонів містить наступні етапи з використанням рис. 2, 3 і табл. 1:

отримання даних щодо ступенів еквівалентності еталонів НМІ та їх розширених невизначеностей за визначеними ключовими звіреннями з KCDB VIPM;

розрахунок показників E_n для всіх НМІ-учасників ключових звірень;

визначення переліку НМІ з найбільшими за модулем ступенями еквівалентності еталонів (BEV, SMD, SMU2, MKEH, MIKES) – критерій 1;

визначення переліку НМІ з найбільшими розширеними невизначеностями (MKEH, INM (CO), AREPA, GEOSTM, INM (RO), NPLI, NMISA, GUM) – критерій 2;

визначення переліку НМІ зі значеннями показника E_n , які більші за 0,60 (SMD, MIKES, SMU2, VSL1, BEV, INTI, VSL2) – критерій 3;

формування загального переліку НМІ, які визначені за критеріями 1-3 (BEV, SMD, SMU2, MKEH, MIKES, INM (CO), AREPA, GEOSTM, INM (RO), NPLI, VSL1,2, INTI, NMISA, GUM).

Сервіси калібрування та вимірювання визначених за критеріями 1-3 НМІ (виділені сірим у табл. 1) недоцільні для використання. Сервіси калібрування та вимірювання інших НМІ можна використовувати зважаючи на необхідну для встановлених завдань невизначеність вимірювання при калібруванні робочих еталонів і ЗВТ лабораторій-замовників.

Висновки

Запропоноване альтернативне оцінювання результатів ключових звірень еталонів спрощує проведення аналізу сервісів калібрування НМІ, що мають опубліковані СМС у KCDB VIPM. Вона передбачає застосування показника E_n як критерія сумісності отриманих результатів звірень для аналізу ступеня еквівалентності еталону НМІ та відповідної розширеної невизначеності. Це сприяє більш раціональному калібруванню робочих еталонів і ЗВТ для конкретних встановлених цілей як для НМІ, що не мають таких СМС, так і для акредитованих лабораторій.

Рисунок 2 – Альтернативне відображення результатів ключових звірень еталонів електричної потужності для коефіцієнта потужності 1,0 на частоті 53 Гц

Рисунок 3 – Значення показника E_n для результатів ключових звірень еталонів електричної потужності для коефіцієнта потужності 1,0 на частоті 53 Гц

Список використаних джерел (References)

1. Bureau International des Poids et Mesures. Mutual Recognition of National Measurement Standards and of Calibration and Measurement Certificates issued by National Metrology Institutes. 1999. 30 p.
2. CIPM MRA-D-05. Measurement comparisons in the context of the CIPM MRA. 2016. 29 p. URL: <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/cipm-mra-documents/>
3. CIPM MRA-D-04. Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA. Oct. 2013. URL: <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/cipm-mra-documents/>
4. The BIPM key comparison database (KCDB). URL: <http://www.kcdb.bipm.org/>
5. JCGM 100:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). URL: https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcg_m/JCGM_100_2008_E.pdf
6. COOMET R/GM/14:2016. Guidelines on COOMET key comparison evaluation. URL: http://www.coomet.org/DB/isapi/cmt_docs/2016/5/2BMD1O.pdf
7. Cox M. G. The evaluation of key comparison data. Metrologia. 2002. Vol. 39. P. 589–595. doi:10.1088/0026–1394/39/6/10.
8. Cox M. G. The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset. Metrologia. 2007. Vol. 44(3). P. 187–200. doi:10.1088/0026–1394/44/3/005.
9. Mana G., Massa E., Predescu M. Model selection in the average of inconsistent data: an analysis of the measured Planck-constant values. Metrologia. 2012. Vol. 49. P. 492–500. DOI: 10.1088/0026-1394/49/4/492.
10. Velychko O., Karpenko I. Alternative Method for Processing of International Comparison Results. Ukr. Metrolog. Journal. 2019. № 2. P. 10–15. DOI: 10.24027/2306-7039.2.2019.174115.
11. Velychko O., Karpenko S. Linking results of key and supplementary comparisons of regional metrology organization for electrical power. International Journal of Metrology and Quality Engineering. 2016. Vol. 7. 3 p. DOI: 10.1051/ijmqe/2016014.
12. Velychko O. Linking results of key and supplementary comparisons of AC/DC voltage transfer standard. International Journal of Metrology and Quality Engineering. 2018. Vol. 9. 4 p. DOI: 10.1051/ijmqe/2018002.
13. Velychko O., Gordiyenko T. Possibilities of Linking Results of EURAMET and COOMET Key Comparisons for Power. Ukr. Metrolog. Journal. 2019. № 4. P. 15–22. DOI: 10.24027/2306-7039.4.2019.195952.
14. Velychko O., Gordiyenko T. Metrological Traceability at Different Measurement Levels. Standards, Methods and Solutions of Metrology / Edited by Luigi Cocco. Published by IntechOpen, London, United Kingdom. 2019. Chapter 1. P. 1–21. DOI: 10.5772/intechopen.84853.

Надійшла до редакції 29.04.2020

УДК 629.4.018

К. Ф. Боряк¹, д.т.н., **О. М. Лимаренко²**, к.т.н., **Н. О. Перетяка¹**, к.т.н.

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

²Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

ОСОБЛИВОСТІ ВИПРОБУВАННЯ НА МІЦНІСТЬ АВТОРЕГУЛЯТОРІВ ГАЛЬМІВНОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Стаття присвячена розв'язанню суперечливої вимоги п. 15.5.7 чинної в Україні відомчої інструкції з ремонту гальмівного обладнання вагонів типу ЦЛ-0013. Встановлені залежності значень напруженого стану авторегулятора при випробуванні на міцність на автоматичному стенді від зміни його довжини у всьому можливому діапазоні відкручування гвинта на розмір «а» в межах 0–600 мм. Завдання вирішується розрахунковим шляхом за двома різними методиками, а отримані результати значень напруженого стану авторегулятора з різною довжиною відкручування гвинта на розмір «а» порівнюються між собою. На підставі порівняння розрахунків показано, що розмір «а» відкручування авторегулятора при випробуваннях його на міцність із однаковим зусиллям навантаження в повздовжньому напрямку не впливає на розрахункові значення напруженості гвинта.

Ключові слова: гальмівне обладнання вагонів, авторегулятор, відкручування гвинта, автоматичний стенд, випробування на міцність, напружений стан, зусилля навантаження.