

МЕТРОЛОГІЯ, ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

КЛЮЧОВЕ РЕГІОНАЛЬНЕ ЗВІРЕННЯ COOMET.AUV.A-K5. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

KEY REGIONAL COMPARISON COOMET.AUV.A-K5. ANALYSIS OF THE RESULTS

*Костеров О. О., ст. наук. співр., Паракуда В. В., канд. техн. наук, доц.,
Державне підприємство “Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем”,
Львів, Україна; e-mail: kostеров@ndi-systema.lviv.ua*

*Oleksandr Kosterv, senior researcher; Vasyl Parakuda, PhD, Ass.-Prof.,
State Enterprise “Scientific-research Institute for Metrology of Measurement and Control
Systems”, Lviv, Ukraine; e-mail: kosterv@ndi-systema.lviv.ua*

<https://doi.org/>

Анотація. Проаналізовано результати двостороннього ключового регіонального звірення COOMET.AUV.A-K5 із калібрування однодюймових лабораторних еталонних мікрофонів у діапазоні частот від 2 Гц до 10 кГц. Звірення здійснювали національні метрологічні інститути в галузі акустики України (ДП НДІ “Система”) та Польщі (GUM). Учасники надали результати вимірювання рівня та фази чутливості за тиском лабораторного еталонного дюймового мікрофона, який виконував роль еталона-переносника в цих звірваннях. На основі отриманих даних розраховано ступені еквівалентності результатів вимірювань ДП НДІ “Система” відносно відповідних опорних значень ключового звірення консультативного комітету з акустики, ультразвуку та вібрації Міжнародного бюро з мір та ваг – CCAUV.A-K5, визнавши їх еквівалентними.

Ключові слова: акустика, модуль та фаза чутливості за тиском, первинний метод взаємності, ключові звірення, непевність вимірювань.

Abstract. The article analyzes the results of bilateral key regional comparison COOMET.AUV.A-K5 related to the calibration of one-inch laboratory standard microphones in the frequency range from 2 Hz to 10 kHz. The national metrology institutes in the field of acoustics of: Ukraine (DP NDI “Systema”) and Poland (GUM) have been participated in this comparison. The participants are presented the measurement results of the level and phase of the pressure sensitivity, as well as corresponding expanded uncertainty of measurements for the one-inch laboratory standard microphone, which in this case perform functions of the carrier-standard. On the basis of the obtained data, the stages of equivalence of the measurement results of DP NDI “Systema” were calculated in relation to the corresponding reference values, obtained during the key comparison of Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration of the International Bureau of Measures and Pounds – CCAUV.A-K5; it has been established that they are equivalent within the uncertainties declared by the participants.

However, several comments were raised during by international experts while reviewing the obtained results. These comments mainly concern the effect of rather high measurement uncertainty of the pilot laboratory on the comparison results. The followed discussion revealed that the equivalence of the results of DP NDI “Systema” and CCAUV.A-K5 can be definitively established for all frequencies, excepting frequency 2 Hz while measuring the sensitivity level, and for all frequencies, but excluding the range 2–4 kHz while measuring the sensitivity phase. For measurements at frequencies where it was impossible to reach an unambiguous conclusion on the equivalence of the obtained results, it was recommended to increase the declared uncertainty of measurements.

Key words: Acoustics, Modulus and phase of the pressure sensitivity, Primary method of reciprocity, Key comparison, Uncertainty of measurement.

Вступ

Консультативний комітет з акустики, ультразвуку та вібрації (англ. Consultative Committee for Acoustic, Ultrasound and Vibration, аббревіатура – CCAUV) Міжнародного бюро з мір та ваг (англ. Bureau International des Poids et Mesures, аббревіатура – BIPM) приділяє велику увагу забезпеченню єдності та простежуваності у сфері акустичних вимірювань у світі. Про це свідчить проведення п’яти міжнародних ключових звірвань з 2000 р. та три наступні звірвання,

передбачені стратегічним планом дій CCAUV на 2017–2027 роки [1].

Останні завершені міжнародні ключові звірення під егідою комітету CCAUV.A-K5 [2], які проводились у 2010–2014 рр., стосувались калібрування за тиском однодюймових лабораторних еталонних мікрофонів у діапазоні частот від 2 Гц до 10 кГц. За результатами звірення отримано нове опорне значення ключових звірень (англ. аббревіатура – KCRV), яке є, по суті, міжнародним віртуальним

еталоном одиниці звукового тиску в повітряному середовищі. Отже, виникла потреба, щоб національний метрологічний інститут України в галузі акустики (ДП НДІ “Система”) взяв участь у наступних ключових звіреннях для приєднання до нового значення KCRV та для актуалізації заявлених раніше вимірювальних та калібрувальних можливостей України у цій галузі (СМС-рядків у базі даних KCDB BIPM). Це спонукало до проведення двосторонніх ключових регіональних звірень із відповідним інститутом Польщі (GUM), який брав участь у звіреннях CCAUV.A-K5 і який міг виконати функцію приєднання отриманих результатів до значення KCRV та оцінювання ступенів еквівалентності результатів ДП НДІ “Система” до інших учасників звірень CCAUV.A-K5. Ці нові звірення зареєстровано в CCAUV BIPM під назвою COOMET.AUV.A-K.5 [3].

Мета статті

Головною метою статті є опис і реалізація метрологічної програми та робіт із упровадження однодуюмового еталонного лабораторного мікрофона типу LS1p національного метрологічного інституту України (ДП НДІ “Система”) за допомогою звірення через сполучну лабораторію GUM у межах COOMET.AUV.A-K.5, до міжнародного віртуального еталона одиниці звукового тиску в повітряному середовищі KCRV.

Ключове регіональне звірення як шлях до міжнародного визнання вимірювальних та калібрувальних можливостей України в галузі акустичних вимірювань

Перед початком звірення було розроблено, затверджено та зареєстровано в CCAUV технічний протокол [4], вимоги якого, загалом, відповідали вимогам технічного протоколу звірення CCAUV.A-K5. Відповідно до цього протоколу кожен із учасників повинен відкалібрувати один однодуюмовий еталонний лабораторний мікрофон типу LS1p первинним методом взаємності та визначити рівень і фазу його чутливості за тиском для третино-октавного ряду частот у діапазоні від 2 Гц до 10 кГц. Пілотною лабораторією цього звірення вибрано акустичну лабораторію GUM, Польща.

Методика проведення вимірювань ДП НДІ “Система” під час звірення

Калібрування однодуюмового еталонного лабораторного мікрофона типу LS1p, який слугував еталоном-переносником для цього звірення, здійснено в акустичній лабораторії ДП НДІ “Система” на державному первинному еталоні одиниці звукового тиску в повітряному середовищі ДЕТУ 10-01-11 відповідно до вимог міжнародного стандарту ДСТУ ІЕС 61094-2:2009 [5]. Під час калібрування виконано такі операції:

- визначено глибину фронтальної порожнини мікрофона еталона-переносника;
- визначено комплексний електричний передавальний імпеданс пар мікрофонів, які брали участь у вимірюваннях;
- визначено резонансну частоту мікрофонів;
- визначено фронтальний та еквівалентний об’єми мікрофонів;
- розраховано рівень та фазу чутливості за тиском мікрофона еталона-переносника;
- оцінено непевність вимірювань під час калібрування еталонних мікрофонів.

Встановлено, що у сумарній непевності вимірювань під час калібрування однодуюмових еталонних лабораторних мікрофонів первинним методом взаємності на еталоні ДЕТУ 10-01-11 домінували такі складові, як непевності визначення значення еталонної ємності, фронтального та еквівалентного об’ємів мікрофона, перехресні завади та власний електричний шум вимірювальних каналів еталона, а також допустима повторюваність вимірювань під час калібрування мікрофонів типу LS1p на державному еталоні ДЕТУ 10-01-11. Оскільки в цих звіреннях підтверджувалися вимірювальні можливості калібрування визначеного типу мікрофонів (тип LS1p), то за непевність за типом А, яку, зазвичай, визначають за допомогою статистичного аналізу результатів повторних спостережень, в цьому випадку прийняли допустиму повторюваність результатів вимірювань, яка є статистичною характеристикою калібрування власне цього типу мікрофонів на еталоні ДЕТУ 10-01-11.

1.2. Результати визначення чутливості еталона-переносника учасниками звірення

Обидві лабораторії, що брали участь у звіренні, подали результати калібрування, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати калібрування еталона-переносника, разом із відповідними заявленими розширеними непевностями вимірювань, які надали учасники звірень

Table 1

The results of the calibration of the carrier-standard with the respective stated expanded uncertainty of measurement that are presented by the comparison participants

Частота, Гц	GUM, Польща				ДП НДІ “Система”, Україна			
	Рівень чутливості	Розширена непевність вимірювань рівня чутливості ($\kappa=2$)	Фаза чутливості	Розширена непевність вимірювань фази чутливості ($\kappa=2$)	Рівень чутливості	Розширена непевність вимірювань рівня чутливості ($\kappa=2$)	Фаза чутливості	Розширена непевність вимірювань фази чутливості ($\kappa=2$)
	дБ відн. 1В/Па		градус		дБ відн. 1В/Па		градус	
1,995	-26,18	0,27	176,08	2,8	-26,348	0,09	176,4	2,5
2,512	-26,47	0,27	176,68	2,8	-26,465	0,085	176,5	2,2
3,162	-26,50	0,27	176,39	2,8	-26,579	0,08	176,6	1,9
3,981	-26,61	0,13	176,55	2,2	-26,677	0,075	176,7	1,6
5,012	-26,71	0,13	176,71	2,2	-26,768	0,07	177,1	1,3
6,310	-26,81	0,13	176,85	2,2	-26,846	0,065	177,4	1,0
7,943	-26,88	0,12	177,10	1,9	-26,912	0,06	177,6	0,7
10,000	-26,95	0,12	177,38	1,9	-26,966	0,055	177,8	0,6
12,589	-27,00	0,12	177,66	1,9	-27,012	0,05	178,0	0,5
15,849	-27,05	0,12	177,89	1,7	-27,050	0,045	178,2	0,4
19,953	-27,07	0,12	178,15	1,5	-27,078	0,04	178,4	0,4
25,119	-27,10	0,12	178,31	1,5	-27,104	0,035	178,5	0,4
31,623	-27,13	0,03	178,46	1,5	-27,126	0,03	178,6	0,4
39,811	-27,15	0,03	178,55	1,5	-27,144	0,03	178,7	0,4
50,119	-27,17	0,03	178,62	1,5	-27,161	0,03	178,8	0,4
63,096	-27,19	0,03	178,68	1,1	-27,174	0,03	178,8	0,4
79,433	-27,20	0,03	178,67	1,1	-27,186	0,03	178,8	0,4
100,00	-27,21	0,03	178,62	1,1	-27,197	0,03	178,7	0,4
125,89	-27,23	0,03	178,54	0,9	-27,207	0,03	178,6	0,4
158,49	-27,23	0,03	178,41	0,9	-27,214	0,03	178,5	0,4
199,53	-27,24	0,03	178,20	0,9	-27,220	0,03	178,2	0,4
251,19	-27,25	0,03	177,91	0,9	-27,225	0,03	177,9	0,4
316,23	-27,25	0,03	177,55	0,9	-27,229	0,03	177,6	0,4
398,11	-27,26	0,03	177,03	0,9	-27,231	0,03	177,1	0,4
501,19	-27,26	0,03	176,43	0,7	-27,229	0,03	176,4	0,4
630,96	-27,25	0,03	175,64	0,7	-27,224	0,03	175,5	0,4
794,33	-27,24	0,03	174,66	0,7	-27,213	0,03	174,5	0,4
1000,0	-27,22	0,03	173,23	0,7	-27,193	0,03	173,1	0,4
1258,9	-27,19	0,03	171,50	1,1	-27,159	0,03	171,3	0,4
1584,9	-27,14	0,03	169,27	1,1	-27,107	0,03	169,0	0,4
1995,3	-27,05	0,03	166,35	1,1	-27,023	0,03	166,1	0,4
2511,9	-26,92	0,03	162,44	0,9	-26,892	0,04	162,1	0,4
3162,3	-26,72	0,04	157,17	1,0	-26,698	0,05	156,8	0,4
3981,1	-26,44	0,05	149,62	1,2	-26,427	0,06	149,2	0,4
5011,9	-26,13	0,06	138,25	1,0	-26,125	0,07	137,9	0,7
6309,6	-26,04	0,06	120,87	1,0	-26,051	0,08	120,8	1
7943,3	-26,99	0,06	96,21	1,2	-27,000	0,09	96,5	1,3
10000	-30,00	0,11	69,88	1,4	-29,992	0,1	70,7	1,6

1.3. Процедура приєднання результатів ДП НДІ “Система” до значення KCRV ССАUV.A-K5

Процедура приєднання результатів звірення COOMET.AUV.A-K5 до результатів, одержаних під час ССАUV.A-K5, ґрунтувалась на методиці, наведеній у [6, 7]: розраховано поправку Δ як

різницю між результатами, отриманими GUM у звіреннях ССАUV.A-K5 та COOMET.AUV.A-K5; її використано для перетворення результатів ДП НДІ “Система” на COOMET.AUV.A-K5 за допомогою їх безпосереднього порівняння із результатами ССАUV.A-K5. Значення цієї поправки та відповідні непевності розраховано відповідно до (1)–(3):

$$\Delta = x_{PL} - y_{PL} \quad (1)$$

$$u^2(\Delta) = u^2(x_{PL}) + u^2(y_{PL}) - 2 \cdot \text{cov}(x_{PL}, y_{PL}) \quad (2)$$

$$u^2(\Delta) = 2 \cdot u_A^2(x_{PL}),$$

$$\text{за припущення, що } u(x_{PL}) = u(y_{PL}) = \frac{U(x_{PL})}{2}, \quad (3)$$

де Δ – поправка, яку розраховано для кожної частоти як різницю між результатами, отриманими GUM під час CCAUV.A-K5 та COOMET.AUV.A-K5, відповідно; x_{PL}, y_{PL} – результати, одержані GUM під час CCAUV.A-K5 та COOMET.AUV.A-K5, відповідно; $u(x_{PL}), u(y_{PL})$ – стандартна непевність, заявлена GUM під час CCAUV.A-K5 та COOMET.AUV.A-K5, відповідно; $U(x_{PL})$ – розширена непевність із коефіцієнтом охоплення $k = 2$, заявлена GUM; $u_A(x_{PL})$ – стандартна непевність типу А, заявлена GUM; $u(\Delta)$ – стандартна непевність поправки.

1.4. Оцінювання ступенів еквівалентності результатів ДП НДІ “Система” щодо KCRV CCAUV.A-K5

Односторонні ступені еквівалентності (DoE), визначені як різниця між перетвореними результатами ДП НДІ “Система”, $y_{UA} + \Delta$, та KCRV, розраховані для кожної частоти як для модуля чутливості мікрофона, так і для її фази,

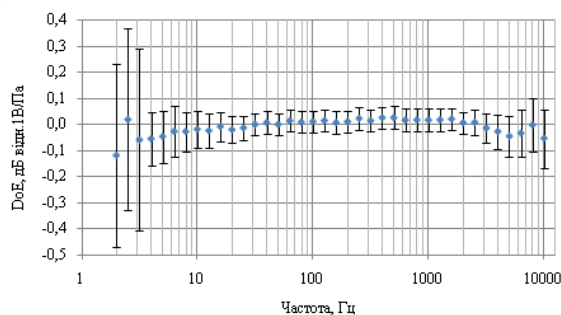


Рис. 1. DoE результатів визначення рівня чутливості ДП НДІ “Система” щодо KCRV CCAUV.A-K5

Figure 1. DoE of the measurement results of the sensitivity level of DP NDI “System” in relation to KCRV CCAUV.A-K5

згідно із формулою (4). Відповідна розширену непевність ($k=2$) розраховано за (5)–(7):

$$d_{UA} = y_{UA} + \Delta - x_{ref} \quad (4)$$

$$u^2(d_{UA}) = u^2(y_{UA}) + u^2(\Delta) + u^2(x_{ref}) - 2 \cdot \text{cov}(\Delta, x_{ref}) \quad (5)$$

$$u^2(d_{UA}) = u^2(y_{UA}) + u^2(\Delta) + u^2(x_{ref}) - \frac{u^2(\Delta) \cdot u^2(x_{ref})}{u^2(x_{PL})} \quad (6)$$

$$U(d_{UA}) = 2 \cdot u(d_{UA}), \quad (7)$$

де x_{ref} – KCRV, які визначено під час CCAUV.A-K5; $u^2(x_{ref})$ – стандартна непевність KCRV; y_{UA} – результати ДП НДІ “Система”, які отримано під час звіряння COOMET.AUV.A-K5; d_{UA} – DoE результатів ДП НДІ “Система” щодо KCRV; $u(y_{UA})$ – стандартна непевність, заявлена ДП НДІ “Система”; $u(d_{UA})$ – стандартна непевність DoE результатів ДП НДІ “Система”; $u(d_{UA})$ – розширена ($k=2$) непевність DoE результатів ДП НДІ “Система”.

Результати розрахунку DoE результатів ДП НДІ “Система” щодо KCRV разом із розширеною непевністю наведені в табл. 2 та на рис. 1, 2 для рівня та фази чутливості, відповідно.

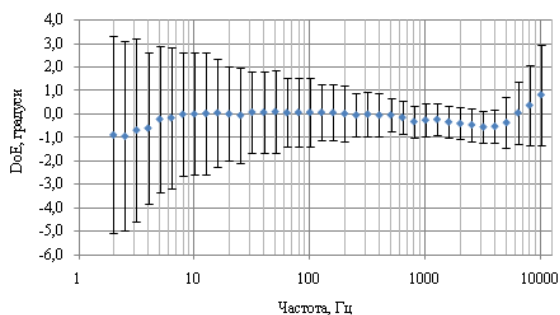


Рис. 2. DoE результатів визначення фази чутливості ДП НДІ “Система” щодо KCRV CCAUV.A-K5

Figure 2. DoE of the measurement results of the sensitivity phase of DP NDI “System” in relation to KCRV CCAUV.A-K5

Таблиця 2

DoE результатів ДП НДІ “Система” щодо KCRV CCAUV.A-K5

Table 2

DoE of the results of DP NDI “Systema” in relation to KCRV of CCAUV.A-K5

Частота, Гц	DoE для рівня чутливості, дБ відн., 1В/Па		DoE для фази чутливості, градуси	
	d_{UA}	$U(d_{UA})$	d_{UA}	$U(d_{UA})$
1,995	-0,120	0,351	-0,888	4,210
2,512	0,019	0,350	-0,944	4,040
3,162	-0,060	0,349	-0,682	3,886
3,981	-0,055	0,104	-0,597	3,246
5,012	-0,047	0,100	-0,211	3,110
6,310	-0,027	0,097	-0,157	2,998
7,943	-0,027	0,075	-0,004	2,639
10,000	-0,019	0,071	0,007	2,614
12,589	-0,024	0,067	0,032	2,594
15,849	-0,008	0,055	0,057	2,297
19,953	-0,020	0,050	0,011	2,019
25,119	-0,014	0,047	-0,048	2,019
31,623	0,000	0,043	0,082	1,743
39,811	0,007	0,043	0,078	1,743
50,119	0,000	0,043	0,105	1,743
63,096	0,014	0,043	0,063	1,469
79,433	0,009	0,043	0,074	1,470
100,00	0,011	0,043	0,075	1,470
125,89	0,015	0,043	0,073	1,200
158,49	0,007	0,043	0,065	1,200
199,53	0,011	0,043	0,022	1,200
251,19	0,023	0,043	-0,036	0,938
316,23	0,014	0,043	-0,001	0,938
398,11	0,026	0,043	-0,041	0,938
501,19	0,026	0,043	-0,033	0,693
630,96	0,017	0,043	-0,138	0,693
794,33	0,018	0,043	-0,319	0,693
1000,0	0,017	0,043	-0,252	0,693
1258,9	0,018	0,043	-0,224	0,693
1584,9	0,021	0,043	-0,331	0,693
1995,3	0,007	0,042	-0,397	0,693
2511,9	0,008	0,050	-0,454	0,693
3162,3	-0,014	0,058	-0,544	0,693
3981,1	-0,027	0,067	-0,520	0,693
5011,9	-0,046	0,079	-0,360	1,100
6309,6	-0,034	0,091	0,057	1,312
7943,3	-0,002	0,103	0,379	1,723
10000	-0,054	0,113	0,826	2,135

1.5. Розгляд отриманих результатів та зауважень до них

На основі отриманих результатів встановлено, що ступені еквівалентності, розраховані на підставі даних, які надали учасники звірянь COOMET.AUV.A-K5, підтвердили відповідність результатів ДП НДІ “Система” як для визначення рівня чутливості за тиском еталонних мікрофонів, так і для їх фази, значенням KCRV CCAUV.A-K5 в усьому діапазоні частот від 2 Гц до 10 кГц у межах заявлених непевностей вимірювань.

Однак під час міжнародної експертизи результатів цих звірень виникло кілька зауважень. Головні із них такі:

– непевність вимірювань, заявлена пілотною лабораторією (GUM), на деяких частотах, як для рівня чутливості, так і для фази, істотно перевищує непевність, заявлену ДП НДІ “Система” (див. табл. 1). Це не дає підстави однозначно стверджувати, що результати, отримані ДП НДІ “Система”, повністю узгоджуються із KCRV, оскільки одержана непевність DoE, в якій домінує непевність пілотної лабораторії, суттєво впливає на значення самих DoE. Якщо із розрахунку непевності DoE вилучити непевність, заявлену пілотною лабораторією, і обмежитись тільки непевністю, яку заявила ДП НДІ “Система”, то отримані скориговані результати, які позначено як DoE', подані на рис. 3, 4 для рівня та фази чутливості, відповідно.

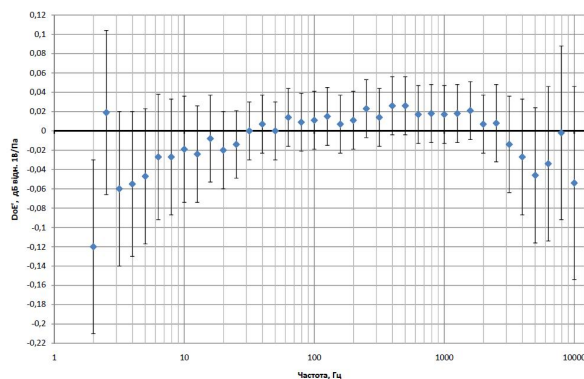


Рис. 3. Скориговані DoE' результатів визначення рівня чутливості ДП НДІ "Система" щодо KCRV CCAUV.A-K5

Figure 3. Corrected DoE' of the measurement results for the sensitivity level of DP NDI "System" in relation to KCRV CCAUV.A-K5

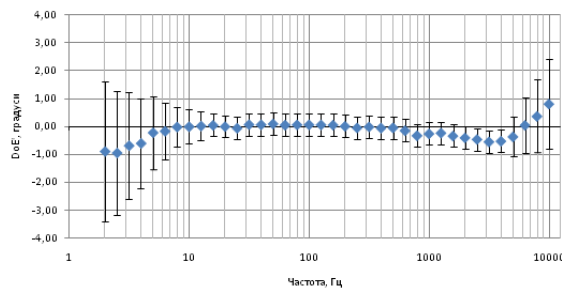


Рис. 4. Скориговані DoE' результатів визначення фази чутливості ДП НДІ "Система" щодо KCRV CCAUV.A-K5

Figure 4. Corrected DoE' of the measurement results for the sensitivity phase of DP NDI "System" in relation to KCRV CCAUV.A-K5

Як видно із наведених результатів, скориговані DoE' для рівня чутливості на частоті 2 Гц та для фази чутливості на частотах від 2 кГц до 4 кГц, можливо, не є еквівалентними до результатів KCRV CCAUV.A-K5. Ці результати не дають змоги дійти однозначного висновку щодо еквівалентності результатів ДП НДІ "Система" до KCRV CCAUV.A-K5 на вказаних частотах. Тому за рекомендацією експертів, під час подання на затвердження в CCAUV нових СМС можливостей України збільшено непевність вимірювань на цих частотах. Крім того, стійкий тренд, який спостерігається для DoE' результатів визначення рівня чутливості ДП НДІ "Система" на частотах нижче ніж 100 Гц, свідчить про необхідність подальшого аналізу отриманих результатів.

Іншим суттєвим зауваженням міжнародних експертів було те, що DoE' визначення рівня чутливості в околі частоти 400 Гц, з одного боку, доволі близькі до значень розширеної непевності

вимірювань ДП НДІ "Система", а з іншого, їм притаманний дещо хаотичний характер. Це може бути свідченням того, що насправді отримані результати ДП НДІ "Система" в цьому діапазоні частот не еквівалентні до KCRV CCAUV.A-K5. Однак розгляд результатів, які надали учасники цих звірянь, дає змогу дійти висновку, що хаотичний характер DoE', швидше за все, є наслідком доволі великого значення непевності вимірювань за типом А пілотної лабораторії. До результатів вимірювань рівня чутливості, які надала пілотна лабораторія, можна застосувати процедуру зменшення випадкової складової (застосовано апроксимацію поліномом п'ятого порядку), та оцінити отримані результати. На рис. 5 наведено порівняння отриманих "згладжених" ступенів еквівалентності результатів ДП НДІ "Система" вимірювання рівня чутливості мікрофонів у цьому діапазоні частот, які позначено як DoE', із DoE'.

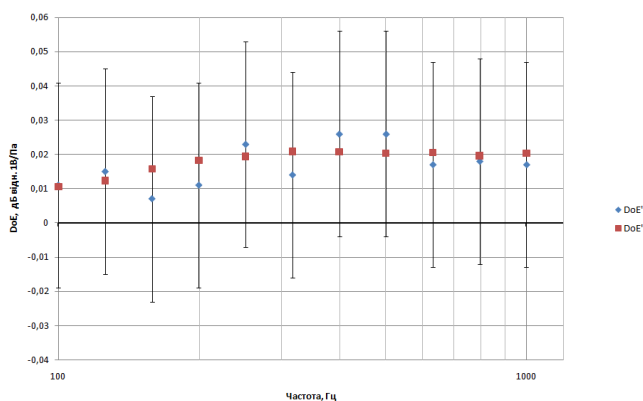


Рис. 5. Порівняння значень DoE' та DoE'' результатів визначення рівня чутливості ДП НДІ "Система" відносно KCRV CCAUV.A-K5

Figure 5. Comparison of the values of DoE' and DoE'' of the measurement results for the sensitivity level of DP NDI "System" in relation to KCRV CCAUV.A-K5

Як видно із поданих результатів, після застосування процедури апроксимації до результатів пілотної лабораторії, значення DoE'' ДП НДІ "Система" втратили хаотичність, а найбільше відхилення від KCRV в цьому діапазоні частот не перевищує 0,021 дБ (розширена непевність вимірювань ДП НДІ "Система" становить при цьому 0,03 дБ). Отже, можна стверджувати, що результати ДП НДІ "Система" визначення рівня чутливості в околі частоти 400 Гц еквівалентні до KCRV CCAUV.A-K5.

Висновки

Здійснене звірення, загалом, підтвердило заявлені ДП НДІ "Система" непевності вимірювань рівня та фази чутливості за тиском однодуюмових, лабораторних, еталонних мікрофонів. Результати калібрування на Державному первинному еталоні України ДЕТУ 10-01-11 визнано еквівалентними до результатів інших акустичних лабораторій, які брали участь у міжнародних ключових звірваннях CCAUV.A-K5 (загалом сьогодні до результатів цих звірень вже приєдналось 26 країн світу).

Неоднозначність результатів звірення COOMET.AUV.A-K5 на деяких частотах пояснюється, значною мірою, доволі великою різницею непевностей вимірювань, заявлених лабораторіями-учасниками, що зазначено у [8]. CCAUV рекомендувало звернути увагу на ситуацію, яка виникла, та не допустити її повторення в майбутньому.

Подяка

Автори висловлюють вдячність пані Дануті Добровольській (Danuta Dobrowolska, GUM, Польща), яка доклала багато зусиль для організації, проведення, опрацювання результатів та створення звіту про це звірвання.

Конфлікт інтересів

Конфлікту інтересів під час написання, підготовки та опублікування статті не виникало, як і взаємних претензій співавторів.

Література

- [1] Strategy 2017 to 2027. Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration (CCAUV). [Online]. Available: <https://www.bipm.org/utls/en/pdf/CCAUV-strategy-document.pdf>
- [2] Ja. Avison and R. Barham, "Final report on key comparison CCAUV.A-K5: pressure calibration of laboratory standard microphones in the frequency range 2 Hz to 10 kHz" [Online]. Available: www.bipm.kcdb.org

- [3] Registration and progress form COOMET.AUV.A-K5 [Online]. Available: http://kcdb.bipm.org/appendixB/appbresults/COOMET.AUV.A-K5/COOMET.AUV.A-K5_registration_and_progress_form.pdf
- [4] COOMET.AUV.A-K5 Technical Protocol [Online]. Available: https://kcdb.bipm.org/appendixB/appbresults/COOMET.AUV.A-K5/COOMET.AUV.A-K5_Technical_Protocol
- [5] ДСТУ ІЕС 61094-2:2009 Електроакустика. Мікрофони вимірювальні. Частина 2. Первинне калібрування за тиском лабораторних еталонних мікрофонів методом взаємності.
- [6] I. A. Kharitonov and A. G. Chunovkina, "Evaluation of regional key comparison data: two approaches for data processing", *Metrologia*, vol. 43, pp. 470–476, 2006.
- [7] COOMET R/GM/14:2006 Recommendation, Guidelines for data evaluation of COOMET key comparison, [Online]. Available: <http://www.coomet.org/>
- [8] D. Dobrowolska, A. Kosterov, "Report on key comparison COOMET.AUV.A-K5: Pressure calibration of laboratory standard microphones in the frequency range 2 Hz to 10 kHz", *Metrologia, Techn. Supplement*, vol. 53, pp. 22, 2016. [Online]. Available: https://www.bipm.org/utls/common/pdf/final_reports/AUV/A-K5/COOMET.AUV.A-K5.pdf

References

- [1] Strategy 2017 to 2027. Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration (CCAUV). [Online]. Available: <https://www.bipm.org/utls/en/pdf/CCAUV-strategy-document.pdf>
- [2] Ja. Avison and R. Barham, "Final report on key comparison CCAUV.A-K5: pressure calibration of laboratory standard microphones in the frequency range 2 Hz to 10 kHz" [Online]. Available: www.bipm.kcdb.org
- [3] Registration and progress form COOMET.AUV.A-K5 [Online]. Available: http://kcdb.bipm.org/appendixB/appbresults/COOMET.AUV.A-K5/COOMET.AUV.A-K5_registration_and_progress_form.pdf
- [4] COOMET.AUV.A-K5 Technical Protocol [Online]. Available: https://kcdb.bipm.org/appendixB/appbresults/COOMET.AUV.A-K5/COOMET.AUV.A-K5_Technical_Protocol
- [5] IEC 61094-2:2009 Measurement microphones – Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
- [6] I. Kharitonov and A. Chunovkina, "Evaluation of regional key comparison data: two approaches for data processing", *Metrologia*, vol. 43, pp. 470–476, 2006.
- [7] COOMET R/GM/14:2006 Recommendation, Guidelines for data evaluation of COOMET key comparison, [Online]. Available: <http://www.coomet.org/>
- [8] D. Dobrowolska, A. Kosterov, "Report on key comparison COOMET.AUV.A-K5: Pressure calibration of laboratory standard microphones in the frequency range 2 Hz to 10 kHz", *Metrologia, Techn. Supplement*, vol. 53, pp. 22, 2016. [Online]. Available: https://www.bipm.org/utls/common/pdf/final_reports/AUV/A-K5/COOMET.AUV.A-K5.pdf