

Проаналізовано положення міждержавних нормативних документів, які регламентують обробку результатів вимірювань під час проведення міжлабораторних звірень та виявлені їх недосконалості, що дозволило запропонувати спосіб опрацювання результатів вимірювань міжлабораторних звірень, який враховує наявність систематичних похибок в результатах вимірювань, з метою перевірки калібрувальних можливостей лабораторій

Ключові слова: звірення, обробка результатів міжлабораторних звірень, систематична похибка, корекція результату

Проанализированы положения межгосударственных нормативных документов, которые регламентируют обработку результатов измерений во время проведения межлабораторных сличений и обнаружены их недостатки, что позволило предложить методику обработки результатов измерений межлабораторных сличений, которая учитывает присутствие систематических погрешностей в результатах измерений, с целью проверки калибровочных возможностей лабораторий

Ключевые слова: сличения, обработка результатов межлабораторных сличений, систематическая погрешность, коррекция результата

ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МІЖЛАБОРАТОРНИХ ЗВІРЕНЬ ЗА УМОВ НАЯВНОСТІ СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

В. В. Шведова

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: shvedova_victoria@ukr.net

Н. О. Руденко*

*Кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

E-mail: mainkissi@ukr.net

1. Вступ

Однією з ключових процедур підтвердження вимірювальних і калібрувальних можливостей [1] випробувальних та калібрувальних лабораторій є участь у міжлабораторних звірваннях. Звірвання – це один із способів контролю засобів повірки в процесі експлуатації. Звірвання можуть проводитися у цілях оцінки характеристик похибок засобів вимірювання (ЗВ) в випадках, коли не були створені еталони або зразкові засоби вимірювань, які забезпечують їх повірку з потрібною точністю [2]. Тобто звірвання використовують наряду з традиційними процедурами повірки та калібрування вимірювального обладнання, зокрема для підтвердження технічної компетентності лабораторій відповідно до [3]. Одним з основних застосувань програм перевірки на якість проведення випробувань є оцінка здатності лабораторії компетентно проводити випробування. Сюди може відноситися оцінка самими лабораторіями, їх замовниками або іншими сторонами, такими як органи з акредитації або регламентуючі органи [4].

Опрацювання даних додаткових звірень, що запропоновано в документі [5] дозволяє підтвердити (або спростувати) заявлені вимірювальні та калібрувальні можливості лабораторій за умов надання ними результатів вимірювань у відповідності з теорією невизначе-

ності. В той же час відомим фактом є те, що використання теорії невизначеності для подання результатів вимірювань є можливим за умови виключення усіх систематичних факторів, що можуть бути присутні в результатах вимірювань [6 – 10]. При проведенні звірень за умов відсутності зразкового засобу вимірювальної техніки визначення систематичної складової похибки вимірювання є не тривіальною задачею. Відповідь на неї частково дає документ [2].

Однак названі методичні інструкції [2] не висвітлюють питання представлення результату вимірювання звірень та поєднання складових похибки вимірювання у форму, придатну для подальшого застосування [5].

Тому на основі проведеного аналізу означеної проблеми була поставлена задача розробки способу опрацювання результатів міжлабораторних звірень, обтяжених постійною систематичною складовою похибки вимірювання.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

За [2] розрізняють два способи обробки даних звірень:

- звірвання засобів повірки за допомогою міри більш високої точності (розряду);

• звірення засобів повірки за допомогою міри, метрологічні характеристики якої одного порядку з засобами, що звіряються.

При цьому за [2] під час оцінюванні метрологічних характеристик засобів вимірювання знаходять:

- характеристику випадкової складової похибки кожного з засобів вимірювання, що звіряються;
- систематичну складову похибки кожного з засобів вимірювання, що звіряються.

В документі [5] також розрізняють звірення двох типів:

- звірення типу I, за яким здійснюють звірення засобів вимірювальної техніки одного класу точності (при цьому відсутня референтна одиниця вимірюваної величини);
- звірення типу II, за яким здійснюється запозичення референтної одиниці вимірюваної величини.

Тому пропонуємо розглядати опрацювання результатів міжлабораторних звірень в двох варіантах (рис. 1):

- за умов наявності засобу вимірювальної техніки більш високого класу точності (тобто є можливість отримання референтного значення вимірюваної величини);
- за умов відсутності засобу вимірювальної техніки більш високого класу точності (референтне значення вимірюваної величини відсутнє).

му випадку, зазначена методика не буде ефективною: не дасть об'єктивної інформації щодо калібрувальних можливостей лабораторії. Однак, дані рекомендації передбачають обробку результатів вимірювань, що не супроводжуються систематичною складовою похибки, або вона була усунена.

Тому пропонується дві методики обробки міжлабораторних звірень з метою підтвердження калібрувальних можливостей лабораторій [11].

3.1. Методика обробки результатів вимірювань для звірень засобів вимірювальної техніки за допомогою міри більш високої точності (розряду)

3.1.1. Оцінювання характеристик випадкової складової похибки кожного з засобів вимірювань, що звіряються.

Розрахунок результатів вимірювань для кожного засобу, що звіряється:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik}, \quad k=1, 2, \dots, n, \tag{1}$$

де:

- i – номер засобу вимірювальної техніки, що звіряється (ЗВТ);
- n – кількість вимірювань кожним ЗВТ;

Розрахунок дисперсії результатів вимірювань для кожного з засобу, що звіряється:

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2, \quad k=1, 2, \dots, n. \tag{2}$$

Розрахунок середнього квадратичного результатів вимірювань для кожного з засобу, що звіряється:

$$S_i = \sqrt{S_i^2}, \quad k=1, 2, \dots, n. \tag{3}$$

3.1.2. Оцінювання систематичної складової похибки кожного з засобу вимірювань, що звіряється.

Розрахунок систематичних похибок для кожного засобу вимірювань, що звіряється:

$$\eta_i = \bar{x}_i - x_{ref} \tag{4}$$

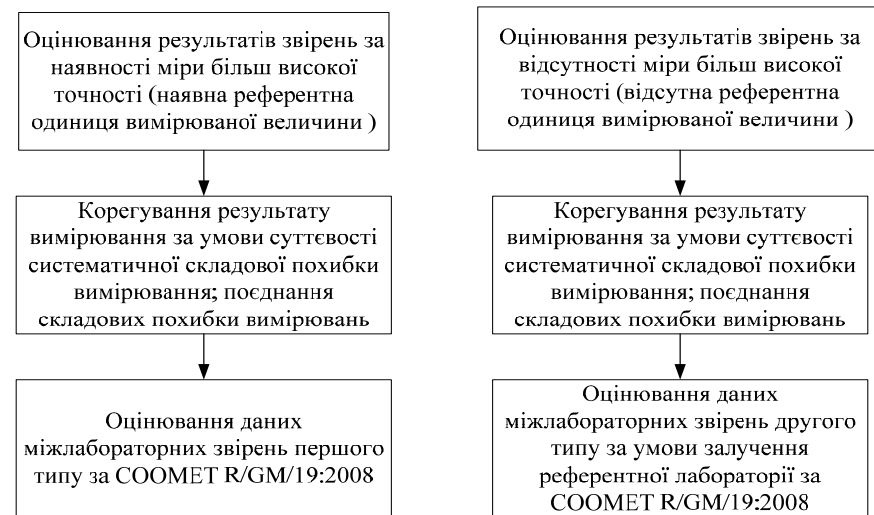


Рис. 1. Запропоновані алгоритми обробки результатів міжлабораторних звірень

3. Мета і завдання дослідження

За COOMET R/GM/19:2008 підтверджуються або не підтверджуються калібрувальні можливості лабораторій на основі перевірки узгодженості результатів вимірювань окремих лабораторій. Для перевірки узгодженості результатів вимірювань, отриманих лабораторіями, вони надають оцінку результату вимірювання і характеристику невизначеності результату вимірювання [5].

Враховуючи застосування в COOMET R/GM/19:2008 підходів, що базуються на використанні теорії невизначеності вимірювань результати вимірювань, що аналізуються на узгодженість між собою, мають бути позбавлені систематичної складової похибки. В іншо-

у x_{ref} – опорне (або референтне) значення вимірювальної величини.

Розрахунок похибки введення поправки на систематичну похибку:

$$\theta_{c_i} = t \cdot \hat{S}_{x_i}, \tag{5}$$

де t - коефіцієнт Стьюдента з $f = n - 1$ ступенями свободи при $P = 0,95$;

\hat{S}_{x_i} - середнє квадратичне відхилення показань засобу вимірювань, що звіряється ($\hat{S}_{x_i} = \frac{\hat{S}_i}{\sqrt{n}}$).

Систематичну похибку враховують, якщо вона перевищує похибку її визначення $|\eta| > \theta_c$.

3.1.3. За умови суттєвості систематичної складової похибки вимірювання, корегуємо результат вимірювання, шляхом введення поправки:

$$x_{ki} = \bar{x}_i + a_i, \quad (6)$$

де a_i - поправка, $a_i = -\eta_i$.

3.1.4. За відомими метрологічними характеристиками засобів вимірювальної техніки, що досліджуються, розраховуємо середньоквадратичне відхилення інструментальної складової похибки вимірювання $\sigma_{\text{інстр}_i}$.

3.1.5. Поєднуємо інструментальну $\sigma_{\text{інстр}_i}$, випадкову S_i та невиключену систематичну складові похибки вимірювання:

$$u(x_{\text{кор}_i}) = \sqrt{\sigma_{\text{інстр}_i}^2 + \eta_i^2 + \frac{\theta_i^2}{3}}. \quad (7)$$

3.1.6. За корегованими результатами вимірювання кожної лабораторії $x_{\text{кор}_i}$ та характеристикою їх точності $u(x_{\text{кор}_i})$ оцінюємо узгодженість цих даних відповідно до СООМЕТ R/GM/19:2008.

Якщо характеристика

$$\tilde{E}_n = \frac{|x_{\text{кор}_i} - x_{\text{ref}}|}{2 \cdot \sqrt{u^2(x_{\text{кор}_i}) + u^2(x_{\text{ref}}) - 2 \cdot \text{cov}(x_{\text{кор}_i}, x_{\text{ref}})}} < 1,$$

при $P = 0,95$, то дані цієї лабораторії можуть бути визнані такими що підтверджують заявлені невизначеності.

$u(x_{\text{ref}})$ – невизначеність відтворення референтного значення вимірювальної величини.

$\text{cov}(x_{\text{кор}_i}, x_{\text{ref}}) = u_0^2(x_{\text{кор}_i})$ – коваріація результатів вимірювань; для її обчислення необхідно проаналізувати бюджет учасника звірень і референтної лабораторії і знайти ті складові, які є спільними і незмінними $u_0^2(x_{\text{кор}_i})$.

3.2. Методика обробки результатів вимірювань для звірень засобів повірки за допомогою міри, метрологічні характеристики якої одного порядку з засобами, що звіряються

3.2.1. Оцінювання характеристик випадкової складової похибки кожного з засобів вимірювань, що звіряються.

Знаходження різниць $x_i - x_j$ показань i -го і j -го з засобів вимірювань, що звіряються, для кожного з k звірень:

$$\Delta_{ijk} = x_{ik} - x_{jk}, \quad k=1,2,\dots,n. \quad (8)$$

Розрахунок різниці середніх арифметичних значень з множиною k звірень для пар i -го і j -го засобів вимірювань, що звіряються:

$$\bar{\Delta}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \Delta_{ijk}}{n}, \quad i \neq j \quad (i,j=1,2,\dots,L), \quad (9)$$

Розрахунок оцінки сумарної дисперсії випадкових похибок засобів вимірювання, що попарно звіряються:

$$S_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (\Delta_{ijk} - \bar{\Delta}_{ij})^2}{n-1}, \quad i \neq j \quad (i,j=1,2,\dots,L). \quad (10)$$

Визначення оцінки дисперсії випадкової похибки кожного засобу вимірювання, що звіряється:

$$\hat{S}_j^2 = \frac{(2L-3) \cdot y_j - \sum_{i=1}^L y_i}{2(L-1)(L-2)}, \quad i \neq j, \quad (11)$$

де $y_i = \sum_{j=1}^L S_{ij}^2$, $i \neq j$.

Розрахунок оцінок СКВ випадкової похибки кожного засобу вимірювання, що звіряється.

$$\hat{S}_i = \sqrt{\hat{S}_i^2}, \quad i=1,\dots,L. \quad (12)$$

Розрахунок середнього квадратичного відхилення дисперсії кожного засобу вимірювання, що звіряється.

$$S(\hat{S}_i^2) = \sqrt{\frac{(2L-3)^2}{4(L-1)^2 \cdot (L-2)^2} \cdot \frac{\sum_{h=1}^m v_h^2}{(m-L)} + \frac{2 \cdot \hat{S}_i^4}{n}}, \quad (13)$$

де m - число умовних рівнянь $m = 0,5 \cdot L \cdot (L-1)$;

v_h - остаточна похибка h -го умовного рівняння, отримана шляхом підставлення в h -те рівняння обчислених оцінок ($v_h = S_{ij}^2 - \hat{S}_i^2 - \hat{S}_j^2$).

Розрахунок верхньої довірчої границі довірчого інтервалу для дійсного значення середньоквадратичного відхилення:

$$S_B = \chi_{f,P} \cdot \hat{S}_{гр}, \quad (14)$$

де $\chi_{f,P}$ - коефіцієнт, що залежить від числа ступенів свободи $f = n-1$ і довірчої ймовірності P . Значення коефіцієнту $\chi_{f,P}$ визначають по таблиці; $\hat{S}_{гр}$ - задане граничне значення.

3.2.2. Оцінювання систематичної складової похибки кожного з засобів вимірювань, що звіряються.

Розрахунок початкових значень систематичних похибок засобів вимірювання:

$$\eta_i^0 = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^L \frac{\bar{\Delta}_{ij}}{L-1}, \quad i=1,\dots,L. \quad (15)$$

Знаходження засобу вимірювання з найменшою за модулем систематичною похибкою:

$$\eta_{\min}^0 = \min_{i=1..L} \{\eta_i^0\}, \quad i=1,\dots,L. \quad (16)$$

Розрахунок систематичних похибок засобів вимірювання, що звіряються:

$$\eta_i = \bar{\Delta}_{ij\eta_{\min}} + \eta_{\min}^0, \quad i=1,\dots,L. \quad (17)$$

Розрахунок похибки поправки (невиключеної складової систематичної похибки у випадку введення поправки):

$$\theta_{c_i} = t \sqrt{\frac{(n_i - 1) \cdot \hat{S}_i^2 + (n_{jmin} - 1) \cdot \hat{S}_{jmin}^2}{n_i + n_{jmin} - 2}} \cdot \sqrt{\frac{n_i + n_{jmin}}{n_i \cdot n_{jmin}}}, \quad i = 1, \dots, L, \quad (18)$$

де n_i - кількість звірень з досліджуваним засобом вимірювань;

n_{jmin} - кількість звірень з засобом вимірювань з мінімальною систематичною похибкою;

\hat{S}_i^2 - оцінка дисперсії засобу вимірювання, що звіряється;

\hat{S}_{jmin}^2 - оцінка дисперсії засобу вимірювання з мінімальною систематичною похибкою.

t - коефіцієнт Стьюдента с $f = n_i + n_{jmin} - 2$ ступенями свободи при $P = 0,95$.

$$\text{Або } \theta_{c_i} = t \sqrt{S_{x_i}^2 + S_{x_{jmin}}^2}, \quad i = 1, \dots, L,$$

де $S_{x_i}^2$ - дисперсія середнього показань засобу вимірювання, що звіряється ($S_{x_i}^2 = \frac{S_i^2}{n}$), $S_{x_{jmin}}^2$ - дисперсія середнього показань засобу вимірювання, що звіряється, з мінімальною систематичною похибкою $S_{x_{jmin}}^2 = \frac{S_{jmin}^2}{n}$.

Поправка вводиться, якщо виконується умова $|\eta| > \theta_c$.

Знаходження значень введених поправок:

$$V_i = -\eta_i. \quad (19)$$

3.2.3. За умови суттєвості систематичної складової похибки вимірювання, корегуємо результат вимірювання, зокрема шляхом введення поправки:

$$x_{кор_i} = \bar{x}_i + a_i, \quad (20)$$

де a_i - поправка, $a_i = -\eta_i$.

3.2.4. За відомими метрологічними характеристиками засобів вимірювальної техніки, що досліджуються, розрахуємо середньоквадратичне відхилення інструментальної складової похибки вимірювання $\sigma_{інстр_i}$.

3.2.5. Поєднаємо інструментальну $\sigma_{інстр_i}$, випадкову S_i та невиключену систематичну складові похибки вимірювання:

$$u(x_{кор_i}) = \sqrt{\sigma_{інстр_i}^2 + \eta_i^2 + \frac{\theta_i^2}{3}}. \quad (21)$$

3.2.6. За корегованими результатами вимірювання кожної лабораторії $x_{кор_i}$ та характеристикою їх точності $u(x_{кор_i})$ оцінюємо узгодженість цих даних відповідно до СООМЕТ R/GM/19:2008.

3.2.6.1. Визначити опорне значення додаткових звірень \bar{x}_{ref} за формулою:

$$\bar{x}_{ref} = \frac{\sum_1^n \frac{x_{кор_i}}{u^2(x_{кор_i})}}{\sum_1^n \frac{1}{u^2(x_{кор_i})}}. \quad (22)$$

3.2.6.2. Визначити стандартну невизначеність $u^2(\bar{x}_{ref})$ опорного значення додаткових звірень за формулою:

$$u^2(\bar{x}_{ref}) = \frac{1}{\sum_1^n \frac{1}{u^2(x_{кор_i})}}. \quad (23)$$

3.2.6.3. Обчислити значення критерію χ^2 за формулою:

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(x_{кор_i} - \bar{x}_{ref})^2}{u^2(x_{кор_i})}. \quad (24)$$

3.2.6.4. Задатися рівнем довіри P і за довідковими таблицями знайти критичне значення $\chi_{P,N}$.

3.2.6.5. Перевірка узгодженості даних звірень.

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(x_{кор_i} - \bar{x}_{ref})^2}{u^2(x_{кор_i})} < \chi_{0,95}^2(n-1). \quad (25)$$

Якщо значення критерію χ^2 не перевищує критичного значення χ^2 для рівня довіри 0,95 і числа ступенів свободи $n-1$, то дані різних лабораторій можуть бути визнані узгодженими, що є об'єктивним підтвердженням заявлених невизначеностей.

3.2.6.6. Якщо умова з пункту 5.5 не виконується, слід виявити неузгоджені дані.

Визначаємо для кожної лабораторії $E_{max} = \max_{i=1,N} \{E_i\}$:

$$E_n = \frac{|x_{кор_i} - x_{ref}|}{2 \cdot \sqrt{u^2(x_{кор_i}) - u^2(x_{ref})}}. \quad (26)$$

Дані лабораторії, яка забезпечує максимум критерію E_N , тимчасово виключають з розгляду і повторюють процедуру перевірки узгодженості.

Повторюємо пункт 6.5 без 1- тої лабораторії, для котрої отримали E_{max} . Послідовне виключення даних повторюється до тих пір, покине буде виконана умова узгодженості.

Аналіз неузгоджених даних проводить відповідальна особа (організатор звірень).

4. Експериментальні дані та їх обробка

Наведена методика обробки результатів вимірювань було апробовано при обробці реальних результатів вимірювань.

Експериментальні данні x_i в вольтах, отримані в результаті звірень десяти однакових вольтметрів моделі Э543, класу точності 0,5 з зразковим вольтметром М1107, класу точності 0,2.

Номинальне значення вимірюваної величини $x_H = 2,000 \text{ В}$.

В табл. 1 наведені данні для 5 ЗВТ, що звірялись. Для кожного ЗВТ виконано 10 вимірювань.

Оскільки звірення проводилися за допомогою міри більш високої точності, тому при обробці результатів вимірювань використовуємо першу методику обробки результатів звірень.

Таблиця 1

Результати вимірювання $x_{L,k}$,
(L - кількість ЗВ, що звіряють)

Номер вимірювання, k	Результати вимірювань, отримані для 5-ти ЗВТ				
	x_{1k}	x_{2k}	x_{3k}	x_{4k}	x_{5k}
1	2,0500	1,8000	2,1000	2,1000	2,0000
2	2,1000	1,9000	2,0500	2,0500	2,0000
3	2,0500	1,9000	2,0500	2,0500	2,0000
4	2,0500	1,9000	2,0000	2,1000	2,0500
5	2,0000	1,8500	2,1000	2,1000	2,0500
6	2,0500	1,9000	2,1000	2,0500	2,050
7	2,0500	1,9000	2,0500	2,1000	2,0500
8	2,0500	1,9000	2,1000	2,1000	2,0500
9	2,0500	1,9000	2,1000	2,1000	2,0500
10	2,0500	1,9000	2,0500	2,0500	2,0500
Середнє арифметичне результатів вимірювань \bar{x}_i	2,0500	1,8850	2,0700	2,0800	2,0350
Вибіркова дисперсія \hat{S}_i^2	0,00056	0,00114	0,00122	0,00067	0,00058
Вибіркове СКВ \hat{S}_i	0,02357	0,03375	0,03496	0,02582	0,02415
Систематична похибка η_i	0,0500	-0,1150	0,0700	0,0800	0,0350
СКВ результатів вимірювань $\hat{S}_{\bar{x}_i}$	0,00745	0,01067	0,01106	0,00816	0,00764
Похибка введення поправки θ_{c_i} , $t=2,2622$	0,01686	0,02414	0,0250	0,01847	0,01728
$ \eta $	0,0500	0,1150	0,0700	0,0800	0,0350
θ_c	0,0168	0,0241	0,0250	0,0184	0,0173
Результат порівняння	сист. похиб. враховуєм	сист. похиб. враховуєм	сист. похиб. враховуєм	сист. похиб. враховуєм	сист. похиб. враховуєм

Кориговані результати вимірювання представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Кориговані результати вимірювання $x_{кор_i}$

Номер лабораторії	1	2	3	4	5
Кориговані результати вимірювання $x_{кор_i}$	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
Інструментальна складова похибки вимірювання $\sigma_{інстр_i}$	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062
Стандартна невизначеність $u(x_{кор_i})$	0,0506	0,1154	0,0707	0,0804	0,0360

В наведеному прикладі корекція систематичної складової похибки засобів вимірювальної техніки призвела до повного співпадіння корегованого результату вимірювання з опорним значенням вимірюваної величини, що обумовлено несуттєвістю випадковою складовою похибки порівняно із її систематичною складовою. Тому результат перевірки за критерієм E_n є очевидним. При співрозмірності систематично та випадкової складових похибки вимірювання подальшу перевірку проводимо відповідно до [5].

5. Висновки

Таким чином, запропоновані методики обробки результатів міжлабораторних звірень дозволяють оцінити і за потреби скорегувати систематичні складові похибок результатів вимірювань, та отримати стандартну невизначеність цих результатів вимірювання шляхом поєднання інструментальної, випадкової та невиключеної систематично складових похибки вимірювання. Це, в свою чергу, дозволяє застосувати підходи зазначені в сучасних міжнародних нормативних документах щодо проведення міжлабораторних звірень, які передбачають опрацювання результатів вимірювань, позбавлених систематичних складових похибки і таких, що супроводжуються характеристиками невизначеності, за умов наявності систематичних впливів на результати вимірювань.

Література

1. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) 1999 Mutual recognition of national standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes [Текст]. – BIPM Publication (Sevres:BIPM).
2. МИ 1832-88. ГСИ. Сличения групп средств поверки одинакового уровня точности. Основные правила [Текст]. – Введ. 1989-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 15 с
3. ДСТУ ISO/IEC 17025-2006. Національний стандарт України. Загальні вимоги до компетентності калібрувальних та випробувальних лабораторій [Текст]. – Введ. 2007-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 2007. – 15 с.
4. ГОСТ ИСО/МЭК 43-1-2006. Проверка лаборатории на качество проведения испытаний посредством межлабораторных сличений [Текст]. – Введ. 2007-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 2006. – 5 с.
5. COOMET R/GM/19:2008. Руководство по оцениванию данных дополнительных сличений COOMET [Текст]. – Утв. COOMET 2008.16.05. – М. : Комитет COOMET, 2008. – 2-4 с.
6. Захаров, И.П. Теория неопределенности в измерениях. [Текст]:учеб. / Захаров И.П., Кукуш В.Д. – М.: Харьков, Консум, 2002 – 256 с.

7. Ціделко, В. Д. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання. [Текст] / В. Д. Ціделко, Н.А. Яремчук – Київ: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2002 – 176 с.
8. Неєжмаков, П. І. Калібрувальні та вимірювальні можливості національних метрологічних інститутів [Текст] /П. І. Неєжмаков // Український метрологічний журнал. – 2010. – №2. – 48-53 с.
9. Ефремова, Н. Ю. Особенности анализа данных межлабораторных сличений, проводимых в аккредитованных калибровочных лабораториях [Текст] / Н. Ю. Ефремова, С. А. Качур. // Системи обробки інформації. – 2006. – Випуск 7(56) – 22-25 с.
10. ISO 13528: 2005 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons [Текст]. – Введ. 01.09.2005. – ISO TC 69/SC.
11. Шведова, В. В. Оцінювання результатів між лабораторних звірень за умов наявності систематичної похибки вимірювання [Текст] Запоріжжя / В. В. Шведова, Н.О. Руденко // тез. док. XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал української науки – XXI век», 13-18 травня 2013.

Виконано аналіз відомих методів адаптації систем радіоакустичного зондування атмосфери до метеорологічної обстановки, показані їх недоліки. Запропоновано новий удосконалений метод радіоакустичного зондування атмосфери, котрий враховує вплив метеорологічної обстановки на роботу системи та забезпечує підвищення основних якісних показників систем зондування

Ключові слова: радіоакустичне зондування, частотна адаптація, функція розсіювання

Выполнен анализ известных методов адаптации систем радиоакустического зондирования атмосферы к изменяющейся метеорологической обстановке, показаны их недостатки. Предложен новый усовершенствованный метод радиоакустического зондирования атмосферы, который учитывает влияние метеорологической обстановки на работу системы и обеспечивает повышение основных качественных показателей систем зондирования

Ключевые слова: радиоакустическое зондирование, частотная адаптация, функция рассеяния

УДК 621.396.96

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ РАДИО- АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

В. М. Карташов

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой*

E-mail: res@kture.kharkov.ua

М. В. Кушнир

Аспирант*

E-mail: misua_777@mail.ru

*Кафедра радиоэлектронных систем
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
просп. Ленина, 14, Харьков, Украина, 61000

1. Введение

Системы радиоакустического зондирования атмосферы (РАЗ) используются для определения основных метеовеличин: температуры воздуха, скорости ветра, влажности, параметров турбулентности [1]. Определение температурных профилей основано на использовании зависимости скорости звука от температуры и скорости движения среды и на частичном отражении электромагнитных волн от периодических неоднородностей плотности, создаваемых распространяющейся звуковой волной [2 – 4].

Получение достаточного для обработки и регистрации уровня отраженного сигнала в системах РАЗ возможно только при выполнении условия Брэгга,

которое требует определенного соотношения между длинами акустической и электромагнитной волн. Поскольку длина звуковой волны существенным образом зависит от значений метеопараметров, то возникает необходимость частотной адаптации систем РАЗ к изменяющейся метеорологической обстановке.

Существующие методы частотной адаптации, основанные на подстройке частоты акустического сигнала, или подстройке частоты радиосигнала под условие Брэгга, не обеспечивают требуемой эффективности систем радиоакустического зондирования.

В соответствии с этим возникает необходимость разработки новых, более эффективных методов частотной адаптации систем РАЗ.