

УДК 681.518.3.08

В. В. Богачук;**В. В. Кухарчук**, д. т. н., проф.;**С. Ш. Кацев**, к. т. н., доц.;**І. К. Говор**

ОЦІНКА КОМБІНОВАНОЇ СТАНДАРТНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто питання впровадження в метрологічних лабораторіях методик оцінки невизначеностей вимірювань згідно з рекомендаціями ISO. Наведені поняття стандартної та сумарної невизначеності вимірювань. Запропоновані методи та алгоритми оцінювання комбінованої стандартної невизначеності.

Вступ

Перед вступом до СОТ нашій країні необхідно узгодити вітчизняну систему оцінки якості продукції зі світовою, що вимагає переходу на систему оцінки невизначеності вимірювань. Тому важливими є наукові розробки в напрямку створення нових методик, алгоритмів та прикладного програмного забезпечення для швидкого переходу на нову систему оцінки невизначеності вимірювань.

Невизначеність вимірювання — це параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, що характеризує дисперсію значень, які могли бути обґрунтовано приписані вимірюваній фізичній величині [1].

Прийнято вважати, що *стандартна невизначеність* — це невизначеність результату вимірювання, виражена як стандартне квадратичне відхилення. Що стосується *комбінованої стандартної невизначеності* — то це *стандартна невизначеність* результату вимірювання, коли результат отримують із значень ряду інших величин, рівний позитивному квадратному кореню суми членів, причому члени є дисперсіями або коваріаціями цих інших величин, зваженими відповідно до того, як результат вимірювання змінюється в залежності від зміни цих величин.

Розглядаються прикладні методи та алгоритми оцінювання комбінованої стандартної невизначеності вимірювань вологості сипких матеріалів, а саме — сухого молока та інших порошкоподібних сипких матеріалів. Процедура вимірювання здійснювалась за допомогою одноканального інфрачервоного вологоміра, а одиницею виміру вологості приймався ваговий відсоток рідини в сипкому матеріалі.

Таким чином, метою роботи є створення методики автоматизованого оцінювання комбінованої невизначеності вимірювань за умови відомої функції перетворення та основних статистичних характеристик випадкової похибки.

Методика оцінювання комбінованої невизначеності

Першим кроком методики є процедура виявлення та видалення систематичної складової похибки, однією з основних причин виникнення яких є впливні величини.

Більшість способів виявлення систематичних похибок базуються на аналізі знаків не виправлених випадкових відхилень. Так, якщо знаки не виправлених випадкових відхилень чергуються з відомою закономірністю, то має місце змінна систематична похибка. Якщо послідовність знаків «+» змінюється послідовністю знаків «-» і навпаки, то це прогресивна систематична похибка. У випадку, якщо групи знаків «+» та «-» чергуються, має місце періодична систематична похибка.

Ці відносно прості методи використовують тоді, коли випадкова складова похибки несуттєва. Якщо випадкова складова похибки суттєва та сумірна із систематичною складовою, використовують критерій серій, що ґрунтується на медіані, та критерій «висхідних» та «низхідних» серій.

В нашому випадку, ми можемо оцінити характер систематичних похибок, виходячи з фізичних основ побудови первинного вимірювального перетворювача. Якщо опромінювати об'єкт контролю від джерела світла в ІЧ-області, то відбитий від нього промінь перетворюється фотоприймачем

в електричний сигнал [2—3].

Тому фотострум на виході фотоприймача прямо пропорційний його освітленості

$$I_{\phi} = S_{\phi} \rho_x K_{\text{вп}}, \quad (1)$$

де $S_{\phi} = 0,16$ — інтегральна чутливість фотоприймача.

Коефіцієнт ρ_x відбиття від вологого молока з контрольованим параметром W пов'язаний такою залежністю

$$\rho_x = \rho_{\lambda_1} - W10^{-3}, \quad (2)$$

де $\rho_{\lambda_1} = 0,87$ — коефіцієнт відбиття від сухого молока ($W_x = 0$).

Сталу вимірювального перетворювача позначимо

$$K_{\text{вп}} = \tau_{\lambda_1} \Phi \frac{\tau_o \tau_n \pi r^2}{l^2 L^2} \cos \alpha \cos \beta, \quad (3)$$

де $\tau_{\lambda_1} = 0,38 \dots 0,48$ — коефіцієнт пропускання інтерференційного фільтра у вимірювальному перетворювачі; $\Phi = 1,8 \dots 2,8$ лм — світловий потік, що випромінюється боковою поверхнею циліндра вольфрамової нитки лампи; $\tau_n = 0,92$ — коефіцієнт, що характеризує проходження світла через захисне скло; $\tau_o = 0,92$ — коефіцієнт, що характеризує проходження світла через оптичну систему; $l = 0,4$ м — відстань від рівнояскравого диску до вольфрамової нитки лампи; $L = 0,4$ м — відстань від рівнояскравого диску до площадки фотоприймача; $r = 0,4$ м — радіус рівнояскравого диску; $\alpha = 26^\circ$ — кут падіння світла на площадку фотоприймача; $\beta = 26^\circ$ — кут між нормаллю до відбивної поверхні і напрямом на відбивну площадку ΔS_{ϕ} .

Напруга і струм на виході фотоприймача пов'язані залежністю

$$U_{\phi} = I_{\phi} R. \quad (4)$$

Підставимо (1), (2) і (3) в (4) та отримаємо повне рівняння перетворення для вимірювального перетворювача вологості в ІЧ-області

$$U_{\phi} = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\phi} \tau_o \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \tau_{\lambda_1} \Phi}{l^2 L^2} W. \quad (5)$$

Результати моделювання (5) для поданих вище числових номінальних значень наведені на рис. 1. Аналіз цих результатів показує, що зміна світлового потоку, яка випромінюється лампою, в межах від Φ_{min} до Φ_{max} приводить до появи мультиплікативної складових похибки вимірювального перетворення.



Рис. 1. Вплив Φ на зміну статичної характеристики

Оцінимо виділені складові похибки, використавши методику [4—5].

Чутливість вимірювального перетворювача визначається як

$$S = \frac{\partial U_{\phi}}{\partial W} = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\phi} \tau_{\lambda_1} \tau_o \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \Phi}{l^2 L^2}. \quad (6)$$

Зміна чутливості по діапазону

$$S_o = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U_{\phi}}{\partial W^2} = 0 \text{ і } S_{oo} = \frac{1}{6} \frac{\partial^3 U_{\phi}}{\partial W^3} = 0. \quad (7)$$

відсутня.

Коефіцієнт впливу світлового потоку Φ на вихідний сигнал U_{Φ} матиме такий вигляд:

$$\beta = \frac{\partial U_{\Phi}}{\partial \Phi} = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\Phi} \tau_{\lambda_1} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2}{\dot{r}^2 \dot{L}^2}. \quad (8)$$

Швидкість зміни коефіцієнта впливу на вихідний сигнал

$$D(\beta) = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U_{\Phi}}{\partial \Phi^2} = 0. \quad (9)$$

Коефіцієнт спільного впливу контрольованого параметра W і Φ на швидкість зміни вихідного сигналу U_{Φ} визначається як

$$\alpha = \frac{\partial^2 U_{\Phi}}{\partial W \partial \Phi} = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\Phi} \tau_{\lambda_1} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2}{\dot{r}^2 \dot{L}^2}. \quad (10)$$

Використавши (6) і (7), отримаємо номінальну функцію перетворення

$$U_{\Phi n} = S W + S_o W^2 + S_{oo} W^3 = S W = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\Phi} \tau_{\lambda_1} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \Phi}{\dot{r}^2 \dot{L}^2} W. \quad (11)$$

Порівняння статичної характеристики і номінальної функції перетворення наведено на рис. 2. Вони є лінійними і співпадають одна з другою.



Рис. 2. Порівняння статичної характеристики і номінальної функції перетворення

В зв'язку з тим, що статична характеристика лінійна, похибка нелінійності номінальної функції перетворення відсутня

$$\Delta_n = S_o W^2 + S_{oo} W^3 = 0. \quad (12)$$

Мультиплікативна похибка перетворення визначається як

$$\Delta_m = \alpha W \Delta \Phi = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_{\Phi} \tau_{\lambda_1} \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \Delta \Phi}{\dot{r}^2 \dot{L}^2} W. \quad (13)$$

Результати моделювання (13) для ймовірних значень контрольованого параметра показані на рис. 3. З цих графічних залежностей видно, що мультиплікативна похибка від заміни лампи може досягати 0,8.

Поверхня, яка показує зміну мультиплікативної похибки перетворення в умовах зміни світлового потоку Φ на значення $\Delta \Phi = 0 \dots 1$ (від 1,8 до 2,8) в діапазоні зміни контрольованого параметра ($W = 1 \dots 10\%$), показана на рис. 4.

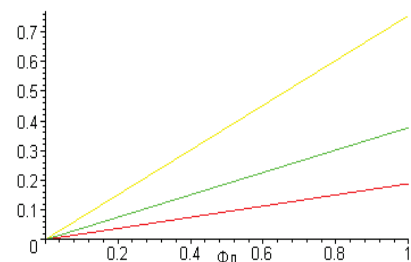


Рис. 3. Мультиплікативна похибка для різних значень вологості ($W = 2, 4, 8\%$)

Адитивна похибка перетворення відсутня

$$\Delta_a = \beta \Delta \Phi + D(\beta) \Delta \Phi^2 = 0. \quad (14)$$

Для даного типу вимірювального перетворення теоретична залежність для корекції мультиплікативної похибки має вигляд

$$\Delta_{m\Phi} = \pm 0,1 W \Delta \Phi. \quad (15)$$

Результати моделювання статичної характеристики вимірювального перетворювача вологості показують, що у випадку зміни значення коефіцієнта пропускання інтерференційного фільтра

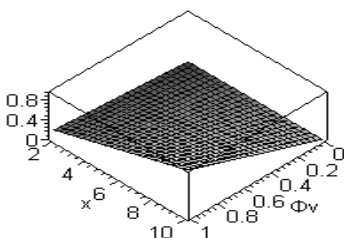


Рис. 4. Мультиплікативна похибка для різних значень вологості та світлового потоку

в межах від $\tau_{\lambda_{1min}} = 0,38$ до $\tau_{\lambda_{1max}} = 0,48$, також має місце мультиплікативна похибка вимірювального перетворення (рис. 5).



Рис. 5. Вплив значення τ_{λ_1} на зміну статичної характеристики

В зв'язку з цим отримуємо рівняння для цієї складової похибки і для цього внутрішнього параметра вимірювального перетворювача [5].

Зведемо всі необхідні проміжні рівняння для отримання залежності мультиплікативної похибки перетворення від умов зміни значення інтерференційного фільтра в табл.

Аналітичні залежності для оцінювання основних метрологічних характеристик вимірювального перетворювача в діапазоні зміни $\Delta\tau_{\lambda_1}$

Найменування	Аналітична залежність
Коефіцієнт спільного впливу W і τ_{λ_1} на швидкість зміни U_ϕ	$\alpha = \frac{\partial^2 U_\phi}{\partial W_x \partial \tau_{\lambda_1}} = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_\phi \Phi \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2}{I^2 L^2}$
Швидкість зміни коефіцієнта впливу на вихідний сигнал	$D(\beta) = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U_\phi}{\partial \tau_{\lambda_1}^2} = 0$
Мультиплікативна похибка перетворення	$\Delta_{M_i} = \alpha W \Delta \Phi = \pi \cdot 10^{-4} \frac{S_\phi \Phi \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2}{I^2 L^2} \Delta \tau_{\lambda_1} W$
Розрахункова залежність	$\Delta_{M_{\tau_{\lambda_1}}} = \pm 0,5 W \Delta \tau_{\lambda_1} \quad (16)$

На рис. 6 показано поверхню, що характеризує зміну мультиплікативної похибки перетворення в умовах зміни значення параметра інтерференційного фільтра $\Delta\tau_{\lambda_1} = 0 \dots 0,1$ (від 0,38 до 0,48) в діапазоні зміни контрольованого параметра ($W = 1 \dots 10\%$).

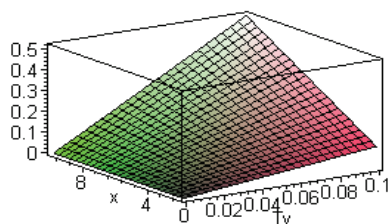


Рис. 6. Мультиплікативна похибка для різних значень вологості та коефіцієнта пропускання інтерференційного фільтра

Таким чином, ми бачимо, що існує систематична мультиплікативна похибка, яка визначається (15) та (16), що дає можливість її програмного усунення.

Наступним кроком методики є вилучення результатів з надмірними похибками. Відомі різні критерії оцінки аномальних результатів вимірювання. Для одночасного виявлення декількох результатів з надмірними похибками найчастіше застосовуються критерії Граббса–Смирнова, Тітьєна–Мура та критерій Ірвіна [6].

Є три види критеріїв Граббса–Смирнова:

— критерій оцінки аномальності, якщо генеральне се-

реднє m та генеральне СКВ σ невідомі;

— критерій оцінки аномальності, якщо генеральне середнє m невідомо, а генеральне СКВ σ відомо;

— критерій оцінки аномальності, якщо генеральне середнє m та генеральне СКВ σ відомі.

Ці критерії дають можливість визначення одного аномального результату, для знаходження інших результатів процедуру необхідно повторити. Разом з тим при використанні цих критеріїв може мати місце так званий «маскувальний ефект», якого можна уникнути, використовуючи критерій Тітьєна–Мура.

Критерії Граббса–Смирнова і Тітьєна–Мура використовують, якщо є впевненість в нормальному розподілі ймовірностей генеральної сукупності результатів вимірювання. Оскільки, в нашому випадку, такої впевненості немає, застосуємо критерій Ірвіна.

Процедура його використання складається з таких кроків [6]:

1. Знаходження середнього арифметичного результатів вимірювань

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i.$$

2. Оцінювання вибіркового середнього квадратичного відхилення (СКВ)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}.$$

3. Упорядкування генеральної сукупності $\{W_1, W_2, W_3, \dots, W_n\}$.

4. Знаходження медіани W_{med} .

5. Розрахунок критерію Ірвіна $\lambda = \frac{|W_i - W_{i+1}|}{s}$.

6. Починаючи з медіани в напрямку зростання (а потім в напрямку зменшення), порівняння λ з табульованим λ_r і вилучення всіх результатів вимірювання, для яких $\lambda > \lambda_r$. Значення λ_r наведені в табл. 2.

Після цього ми повинні уточнити оцінку значення вимірюваної величини для вибірки без надмірних похибок, тобто $\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i$, яку можна вважати результатом вимірювання.

Далі в загальному випадку рекомендується здійснювати перевірку гіпотези щодо прогнозованого розподілу ймовірностей результатів вимірювань. Це доцільно робити тоді, коли нас цікавить не лише оцінка невизначеності, але й характер розподілу ймовірностей, тому в нашому випадку ми можемо цією процедурою знехтувати.

Таблиця 2

Табульовані значення критерію Ірвіна

Об'єм вибірки n	Значення λ_r при ймовірності	
	$P = 0,95$	$P = 0,99$
2	2,8	3,7
3	2,2	2,9
10	1,5	2,0
20	1,3	1,8
30	1,2	1,7
50	1,1	1,6
100	1,0	1,5
400	0,9	1,3
1000	0,8	1,2

Подальшою процедурою є обчислення оцінки СКВ випадкової складової похибки результату вимірювання, тобто компоненти невизначеності типу А

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}.$$

Далі розглянемо процедуру обчислення характеристик невилученої систематичної складової похибки результату вимірювання, тобто компоненти невизначеності типу В. Ця складова виникає завдяки похибкам засобу вимірювання та визначається на основі паспортних даних засобу вимірювання та апріорного розподілу ймовірностей. Визначення цієї складової детально викладене в [6—8].

В нашому випадку немає конкретних свідчень про можливі значення W всередині інтервалу, тому найдоцільніше припустити, що з однаковою ймовірністю W може знаходитися в будь-якому місці діапазону вимірювання, тобто має місце рівномірний або прямокутний розподіл ймовірностей ($\beta = 1$), оскільки саме це припущення відповідає найгіршому випадку — максимальній стандартній невизначеності типу В. Тоді

$$u_B = \frac{\Delta W}{\sqrt{3}},$$

де $\Delta W = 0,05 W$ (паспортні дані одноканального інфрачервоного вологоміра).

Нарешті, останнім кроком методики є безпосереднє обчислення комбінованої стандартної не-

визначеності. Якщо стандартна невизначеність за типом A та стандартна невизначеність за типом B є несумірними величинами, тобто $u_A \gg u_B$ або $u_A \ll u_B$, то комбінована стандартна невизначеність буде дорівнювати більшій величині.

Якщо ці величини сумірні і корельовані, тоді комбінована стандартна невизначеність визначається за формулою

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2 + 2u_A u_B r_{AB}},$$

де r_{AB} – коефіцієнт кореляції.

В нашому випадку ці величини є незалежними, тому $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$.

Алгоритм задачі оцінювання комбінованої невизначеності

Алгоритм оцінювання комбінованої стандартної невизначеності одноканального засобу вимірювання вологості сипких матеріалів показано на рис. 7.

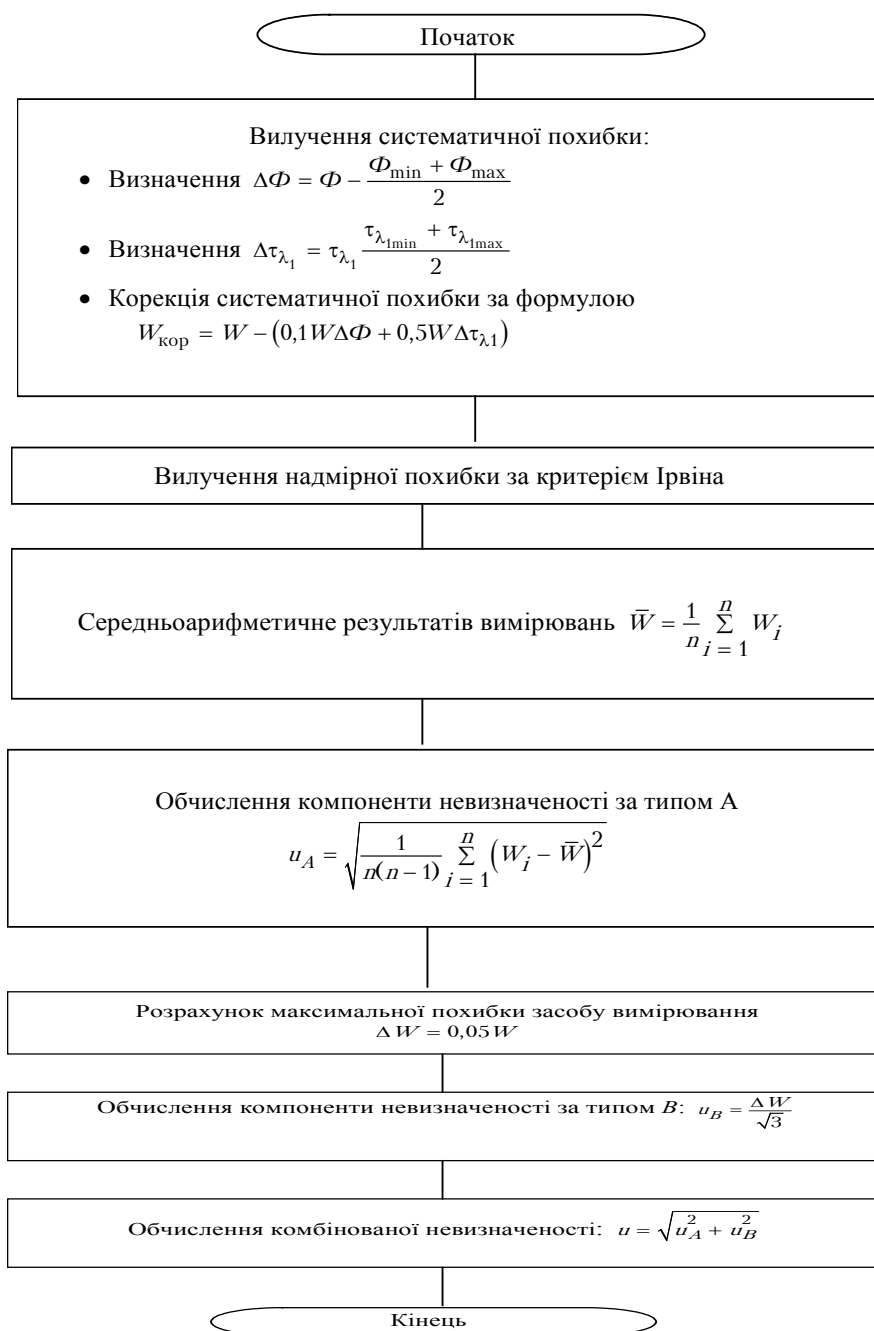


Рис. 7. Алгоритм оцінки комбінованої стандартної невизначеності вологості сипких матеріалів

Результати оцінки комбінованої невизначеності

Авторами ведеться розробка пакету прикладних програм для автоматизованого визначення комбінованої стандартної невизначеності. Окремі фрагменти таблиць, де містяться результати оцінки комбінованої стандартної невизначеності вологості різних сипких матеріалів, показано на рис. 8, 9.

Первин. виміри	Впорядк. виміри	Скориг. виміри	Квадрат відхил.	Критер. Ірвіна	Уточнен. виміри	Квадрат відхил.	Вологомір Світловий потік, лм	1.9
							Коеф. пропуск. фільтра	0.4
4.42494196	8.3457	8.762985	15.8649	1.19532			Вибіркове середньє	4.779905
4.18057921	7.35	7.644	8.20304	0.65102			Вибіркове СКВ	0.936137
4.56106433	6.764	7.03456	5.08347	1.85538			Оцінка вимір. величини	4.672632
4.81911839	5.0939137	5.29767	0.26808	0.05031	5.29767	0.39067	Станд. невизн. (тип А)	0.044646
4.79958755	5.0486254	5.25057	0.22153	0.06174	5.25057	0.33401	Станд. невизн. (тип В)	0.134887
4.93328328	4.993053	5.192775	0.17046	0.0148	5.19278	0.27055	Комб. станд. невизн.	0.142084
	2.837	4.9797289	5.178918	0.15921	5.17892	0.25633		
4.44145469	4.9332833	5.130615	0.123	0.01991	5.13061	0.20975		
4.77375563	4.915364	5.111979	0.11027	0.08855	5.11198	0.19303		
4.22832484	4.8356604	5.029087	0.06209	0.01838	5.02909	0.12706		
4.32744896	4.8191184	5.011883	0.05381	0.0217	5.01188	0.11509		
	8.3457	4.7995876	4.991571	0.0448	4.99157	0.10172		
4.03827228	4.7737556	4.964706	0.03415	0.05356	4.96471	0.08531		
4.25559263	4.7255479	4.91457	0.01813	0.01014	4.91457	0.05853		
4.30662324	4.7164182	4.905075	0.01567	0.03001	4.90507	0.05403		

Рис. 8. Фрагмент результатів оцінки комбінованої стандартної невизначеності вологості сухого молока

Первин. виміри	Впорядк. виміри	Скориг. виміри	Квадрат відхил.	Критер. Ірвіна	Уточнен. виміри	Квадрат відхил.	Вологомір Світловий потік, лм	2.6
							Коеф. пропуск. фільтра	0.45
10.849884	16.4375	15.69781	25.6131	1.00479			Вибіркове середньє	10.6369
10.361158	14.74365	14.30134	13.4283	1.78379			Вибіркове СКВ	1.38982
11.122129	12.187827	11.82219	1.40498	0.06322	11.8222	1.40282	Оцінка вимір. величини	10.6378
11.638237	12.097251	11.73433	1.20442	0.07757	11.7343	1.20242	Станд. невизн. (тип А)	0.08583
11.599175	11.986106	11.62652	0.9794	0.0186	11.6265	0.9776	Станд. невизн. (тип В)	0.30709
11.866567	11.959458	11.60067	0.92891	0.06483	11.6007	0.92716	Комб. станд. невизн.	0.31886
9.9082062	11.866567	11.51057	0.76334	0.02501	11.5106	0.76175		
10.882909	11.830728	11.47581	0.70381	0.11126	11.4758	0.70228		
11.547511	11.671321	11.32118	0.46828	0.02309	11.3212	0.46703		
10.45665	11.638237	11.28909	0.42538	0.02726	11.2891	0.4242		
14.74365	11.599175	11.2512	0.3774	0.03606	11.2512	0.37628		
10.154784	11.547511	11.20109	0.31833	0.06729	11.2011	0.31731		
10.076545	11.451096	11.10756	0.22155	0.01274	11.1076	0.22069		
16.4375	11.432836	11.08985	0.20519	0.03771	11.0899	0.20436		
10.613246	11.378806	11.03744	0.16045	0.02878	11.0374	0.15973		

Рис. 9. Фрагмент результатів оцінки комбінованої стандартної невизначеності вологості прального порошку

Висновки

1. Запропоновано методику оцінювання комбінованої невизначеності вимірювань, яка складається з аналізу попередньо отриманих аналітичних залежностей для оцінки адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки та експериментальних статистичних характеристик випадкової складової похибки на прикладі засобу вимірювання вологості сухого молока та прального порошку в умовах їхнього виробництва.

2. За критерій оцінки аномальних результатів вимірювань вибрано критерій Ірвіна, оскільки на етапі попереднього оцінювання метрологічних характеристик закон розподілу ймовірностей ще невідомий.

3. Показано, що розрахунок комбінованої стандартної невизначеності доцільно проводити, якщо стандартна невизначеність за типом А та стандартна невизначеність за типом В є сумірними величинами, інакше комбінована невизначеність просто приймається рівною більшій величині. Якщо розрахунок проводиться, то у випадку корельованості цих величин необхідно додатково

визначати коефіцієнт кореляції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руководство по выражению неопределенности измерения. — Санкт-Петербург: Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», 1999. — 136 с.
2. Богачук В. В., Кухарчук В. В. Математична модель вимірювального перетворення вологості сипучих матеріалів в ГЧ-області // Тези доповідей XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика — 2006). — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2007. — С. 164.
3. Пат. 9734, МПК G01N27/02. Пристрій для вимірювання вологості матеріалів з безперервним режимом роботи в часі / Шабатура Ю. В., Дмитрієв Ю. О., Бараболя В. П., Богачук В. В. — № 2005 02686; Заявл. 24.03.2005; Опубл. 17.10.2005; Бюл. № 10. — 6 с.
4. Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: Навчальний посібник. — Вінниця: ВДТУ, 2001. — 219 с.
5. Кучерук В. Ю., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О. Оцінка статичних метрологічних характеристик опосередкованих вимірювань: Зб. наук. пр. — Львів: НУ «Львівська політехніка»; Вип. № 420, 2001 — С. 37—45.
6. Циделко В. Д., Яремчук Н. А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання: Монографія. — К.: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2002. — 176 с.
7. Кухарчук В. В., Каців С. Ш. Оцінка невизначеності вимірювань в галузевих метрологічних лабораторіях згідно рекомендацій ISO // Вісник Хмельницького національного університету. — 2006. — № 5. — С. 119—124.
8. Кухарчук В. В., Каців С. Ш. Оцінка комбінованої невизначеності вимірювань // Пр. XIII Міжнар. конф. з автоматичного управління «Автоматика — 2006». — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2007. — С. 94—98.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Надійшла до редакції 18.04.07
Рекомендована до друку 20.05.07

Богачук Володимир Васильович — старший викладач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Кухарчук Василь Васильович — завідувач кафедри; **Каців Самоїл Шулімович** — доцент; **Говор Ігор Костянтинович** — асистент.

Кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань., Вінницький національний технічний університет