

УДК 53.089.5

Р. В. Трембовецька, к.т.н., доцент,**В. Я. Гальченко, д.т.н., професор,****В. В. Тичков, ст. викладач**Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна, rustsur@ Rambler.ru

ВСТАНОВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОГО РОЗМІРУ БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

В роботі показано необхідність встановлення достовірності результатів вимірювань на основі концепції «оцінювання невизначеності вимірювань» оскільки методики розрахунку невизначеності вже запроваджені в міжнародній практиці. В роботі для прикладу наводиться послідовний виклад оцінки розширеної невизначеності результатів вимірювання розміру деталі для рівня довіри $p=0,95$ за допомогою компаратора ІЗА-2. Основна задача після проведення експерименту - оцінювання достовірності отриманих результатів. З цією метою проведено аналіз складових невизначеності, оцінено складові невизначеності за типом В із допущенням про рівномірний закон розподілу. Досліджено невизначеність за типом А, що зумовлена дією випадкових факторів із допущенням про нормальний закон розподілу. Складено бюджет невизначеності при вимірюванні лінійного розміру деталі за допомогою компаратора ІЗА-2.

Ключові слова: достовірність результатів вимірювання; невизначеність вимірювань; стандартна невизначеність; сумарна стандартна невизначеність (комбінована); розширена невизначеність; невизначеність за типом А; невизначеність за типом В.

Постановка проблеми

Після постановки експерименту та проведення будь-яких вимірювань виникає питання оцінювання результатів, встановлення достовірності отриманих даних із врахуванням зовнішніх факторів впливу. Сучасні вимоги щодо встановлення достовірності результатів вимірювання ґрунтуються на концепції «оцінювання невизначеності вимірювань», яка є більш точною та дозволяє врахувати майже всі впливи на результат вимірювання, порівняно з концепцією «оцінювання похибки», що застосовувалася до нині [1-3]. Між двома концепціями «невизначеності результату вимірювання» і «похибки результату вимірювання» є суттєві відмінності, які необхідно враховувати, складаючи методики обробки дослідних даних і подаючи кінцевий результат.

Перехід від оцінки похибок вимірювання до оцінки невизначеностей не впроваджується широко не тільки через відсутність чітких державних вимог, але і через необізнаність науковців з цим питанням. Тому, готуючи наукові кадри другого рівня вищої освіти зі спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», проектна група та розробники освітньо-професійної програми,

передбачили здобуття магістром поглиблених теоретичних та практичних знань, вмінь, навичок з оцінювання невизначеності результатів вимірювання в межах вивчення дисципліни «Основи теорії похибок».

В результаті магістр набуває професійної компетентності «Вибрати оптимальні методи та розроблювати програми експериментальних досліджень та випробувань, проводити вимірювання з вибором сучасних технічних засобів та обробкою результатів вимірювання».

Аналіз джерел досліджень і публікацій

У 1993 році Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) прийняла документ під назвою «Guide for estimation of uncertainty in measurements» (Керівництво з оцінки невизначеності вимірювань), а в 2001 році Міждержавною радою зі стандартизації, метрології і сертифікації було прийнято міждержавний документ [1, 2], учасником якого є Україна. Міжнародні метрологічні організації розробили, узгодили та затвердили принципово новий підхід до оцінки якості вимірювання на заміну традиційних методів розрахунку систематичної і випадкової похибки. Як відомо [3, 4], для багатьох вимірювальних задач систематична і випадкова похибки не можуть адекватно ві-

добразити якість вимірювання і, відповідно, оцінити придатність результату для практичного застосування. При оцінці випадкової похибки існує таке поняття, як «істинне значення» вимірюваної величини, яке може бути знайдене лише тільки після серії вимірювань і обробки результатів. Також ніколи не можна мінімізувати випадкову похибку до нуля. Ще один із недоліків традиційної оцінки похибки полягає в тому, що досить часто неможливо чітко розмежувати систематичну і випадкову похибки. Тобто коли джерел систематичної похибки декілька, і всі вони вносять співвимірний вклад в кінцевий результат, то вимірювана величина буде змінюватися випадковим чином без яскраво виражених ознак систематичних відхилень.

В рекомендаціях міжнародних метрологічних організацій однією із головних причин переходу до нових методів оцінки якості вимірювання вказується той факт, що оцінка систематичної похибки за границею допустимої знижує точність результату [4].

Також існує некоректність застосування поняття «похибка» при змішуванні його з іншими за змістом поняттями «характеристики похибки результату вимірювання», «довірчі границі похибки».

Як відомо у переважній більшості практичних вимірювальних задач похибка вимірювання описується як алгебраїчна сума (зі своїми знаками) всіх її складових в певному експерименті з конкретним екземпляром засобу вимірювання, коли кожна зі складових впливає на сумарну через певний коефіцієнт впливу C_i :

$$\Delta = \sum_{i=1}^n C_i \cdot |\Delta_i|.$$

Виникає задача оцінювання характеристик сумарної похибки, якщо відомі характеристики складових.

За невеликої кількості складових похибки, визначають верхню оцінку похибки вимірювання, як її безумовне граничне значення. При цьому обчислюють суму граничних похибок аргументів (помножених на модулі коефіцієнтів впливу $|C_i|$):

$$\Delta_{зр.} = \pm \sum_{i=1}^n |C_i| \cdot |\Delta_{i.зр.}|.$$

Якщо похибка вимірювання містить велику кількість складових, то мало імовірно, щоб усі вони одночасно прийняли своє найбі-

льше (граничне) значення та ще й всі з погодженими знаками.

При оцінці «характеристики похибок» оперують великою кількістю можливих значень похибок у віртуальних чи реальних експериментах з різноманітними екземплярами засобів вимірювання даного типу при допустимій варіації умов вимірювання. Тому загальноприйнятій оцінці середнього квадратичного відхилення, невиключеної систематичної похибки і довірчих границь множини похибок результатів вимірювання вже не відповідають поняттю похибки. Ці оцінки фактично характеризують не похибку, а розкид значень, що приписується вимірюваній величині на основі використаної інформації, тобто маємо «невизначеність» [1-4].

Таким чином, «невизначеність вимірювання», як параметр, характеризує розсіювання множини можливих значень результатів вимірювання в певній вимірювальній ситуації, але це не похибка конкретного результату вимірювання.

Таким чином при розробці нових підходів до оцінки якості вимірювання закладалися наступні основоположні принципи [4]:

- В багатьох випадках поняття систематичної і випадкової похибки нероздільні, тому їх поділ не відповідає вимогам до якості вимірювання;

- Оцінка систематичної похибки потребує формулювання сурових норм та правил; до них також повинні бути застосовані ймовірнісні оцінки;

- Оцінка якості вимірювання повинна проводитися за міжнародними правилами, єдиними для всіх країн – учасниць Метричної конвенції.

Документ [2, п.3.1] встановлює наступні основні поняття для опису результату вимірювання:

невизначеність результату вимірювання – невід’ємний параметр, пов’язаний з результатом вимірювання, який характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині;

стандартна невизначеність u – невизначеність (непевність), що виражається як стандартне середньоквадратичне відхилення (СКВ).

сумарна стандартна невизначеність (комбінована) u_c – невизначеність (непевність), що отримується шляхом підсумову-

вання всіх складових стандартних невизначеностей, пов'язаних з вимірюваною величиною.

розширена невизначеність U – інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані вимірюваній величині.

Невизначеність (непевності) вимірювання можна систематизувати за наступними ознаками [2, 3]:

- За способами оцінювання;
- За формами подання.

Метою поділу на тип А та В є показ двох різних способів оцінювання компонентів невизначеності, і він використовується тільки для зручності обговорення. Обидва типи оцінювання базуються на розподілах ймовірностей, і компоненти невизначеності кожного типу кількісно визначаються дисперсією або стандартним відхиленням.

За типом А оцінюються невизначеності, що підлягають повторним вимірюванням, до яких можна застосувати статистичні методи.

За типом В оцінюються невизначеності, до яких статистичні методи застосувати неможливо. В таких випадках використовують інші відомі способи.

Мета роботи – побудова моделі оцінювання невизначеності результатів лабораторного експерименту на прикладі вимірювання лінійного розміру деталі за допомогою оптичного вимірювального приладу безпосередньої оцінки (горизонтального компаратора) та формування навичок спеціалістів, які працюють у сфері вимірювань, із застосуванням нового підходу до обробки даних і подання результату вимірювання.

Постановка задачі

Узагальнюючи рекомендації [1-3] алгоритм обробки результатів прямих вимірювань з багаторазовим спостереженнями буде наступний:

1. Аналіз складових невизначеностей вимірювання.
2. Обчислити оцінку значення вимірюваної величини.
3. Оцінити стандартну невизначеність результату вимірювання:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

де x_i – результати окремих спостережень.

4. Вилучити систематичні ефекти, що призводять до появи стандартних невизначеностей.

5. Вилучити промахи з результатів вимірювання.

Для цього розраховують співвідношення:

$$v_1 = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{u_A}; v_2 = \frac{\bar{x} - x_{\max}}{u_A}. \quad (2)$$

Необхідно задати довірчий рівень α та розрахувати надійність $q = 1 - \alpha$ і, залежно від кількості проведених вимірювань n , вибрати допустиме значення v_α .

Якщо розраховані значення v_1 та v_2 менші за допустиме значення v_α , то гіпотезу про наявність аномальних результатів в ряді спостережень відкидають. Якщо ж одне із значень v_1 або v_2 більше за v_α , то це означає, що в результатах вимірювань присутні промахи. Промахи вилучають із результатів вимірювань.

6. Оцінити стандартну невизначеність середнього арифметичного:

$$u_A(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3)$$

7. Оцінити складові $u_i(y)$ комбінованої невизначеності середнього арифметичного. Розрахувати комбіновану невизначеність типу В:

$$u_{cB}(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)}. \quad (4)$$

8. Оцінити комбіновану невизначеність результату вимірювання:

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_{cB}^2(y)}. \quad (5)$$

9. Оцінити розширену невизначеність результату вимірювання:

$$U = k \cdot u_c(y). \quad (6)$$

10. Записати результат вимірювання із зазначенням розширеної невизначеності:

$$X = \bar{x} \pm U, P = \%.$$

Приклад оцінювання невизначеності

Необхідно оцінити розширену невизначеність результатів вимірювання розміру деталі для рівня довіри $p=0,95$.

Методика контролю [5, 6] передбачає вимірювання розміру деталі за допомогою компаратора ІЗА-2 з ціною поділки 0,001 мм

та границею допустимої похибки $\left(1 + \frac{l}{200}\right)$, мкм в діапазоні температур $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Відомо, що номінальне значення розміру деталі згідно з технологічним кресленням має складати 40 мм. Вимірний розмір деталі складає 40,0005 мм. Компаратор ІЗА-2 повірений.

Побудова модельного рівняння

Для побудови модельного рівняння ідентифікуємо основні істотні джерела невизначеності результату вимірювання розміру деталі. В даному випадку такими є:

- Основна допустима похибка компаратора $(1 + l/200)$, мкм;
- Похибка зчитування по шкалі;
- Можливе відхилення температури деталі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;

- Вплив випадкових факторів.

З урахування всіх джерел модельне рівняння матиме вигляд:

$$L = l + \Delta_{зчит} + \Delta + \Delta_t + \Delta_0,$$

1 – покази компаратора під час вимірювання розміру деталі;

Δ_0 – похибка компаратора;

$\Delta_{зчит}$ – поправка до показів компаратора через неточність (похибку) зчитування показів оператором;

Δ – поправка до показів, обумовлена дією випадкових факторів;

Δ_t – поправка до показів, обумовлена відхиленням температури деталі від 20°C .

Оцінювання складових невизначеності за типом В

- Оцінювання стандартної невизначеності $u(\Delta_0)$.

Невизначеність величини 1 обумовлена тим, що компаратор не є абсолютно точним, тобто має похибку. Отже:

$$l = l_{icm} + \Delta_0,$$

де l_{icm} – істинне значення розміру деталі.

Вклад можливої похибки компаратора у невизначеність вимірювання розміру деталі оцінимо за типом В. Згідно з технічним паспортом на компаратор його гранична похибка знаходиться в межах $\left(1 + \frac{l}{200}\right) = 1,2$ мкм, 1 – вимірювана довжина в (мм). Так як реальний закон розподілу похибки невідомий, прийма-

ємо його за рівномірний. В цьому випадку складова невизначеності результату, що зумовлена конструктивними особливостями компаратора, оцінюється через основну похибку при допущенні рівномірного закону розподілу можливих її значень в певних границях [3]:

$$u(\Delta_0) = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0.6928 \text{ мкм}.$$

- Оцінювання стандартної невизначеності $\Delta_{зчит}$.

Неточність (похибка) зчитування показів компаратора оператором не перевищує половини ціни поділки, тобто $\frac{0,001}{2} = 0,0005$ мм. Тоді стандартна невизначеність, що зумовлена похибкою зчитування показів визначається:

$$u(\Delta_{зчит}) = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0.2887 \text{ мкм}.$$

- Оцінювання стандартної невизначеності Δ_t .

Матеріал з якого виготовлена деталь, має температурний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 29 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Оскільки можливе максимальне відхилення температури від 20°C складає 5°C , то йому відповідає можливе відхилення розміру:

$$\Delta_t = \alpha \cdot l \cdot \Delta t = 5.8 \text{ мкм}.$$

Якби температура в приміщенні, де проводиться контроль, регулювалася кондиціонером, під час розрахунку стандартної невизначеності необхідно прийняти антимодальний розподіл [5]. Оскільки в даному випадку температура не регулювалася, приймаємо рівномірний розподіл. Таким чином відповідна стандартна невизначеність від впливу зміни температури буде:

$$u(\Delta_t) = \frac{b_+ - b_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = 3.3486 \text{ мкм}.$$

Із врахуванням складових $u(\Delta_0)$, $u(\Delta_{зчит})$, Δ_t визначаємо комбіновану невизначеність типу В за формулою (4):

$$u_{cB}(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)},$$

$$u_{cB}(\Delta) = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(\Delta_0) + c_2^2 \cdot u^2(\Delta_{зчит}) + c_3^2 \cdot u^2(\Delta_t)},$$

де c_1, c_2, c_3 – коефіцієнти впливу, визначаємо як частинні похідні,

$$c_1 = \frac{\partial L}{\partial \Delta_0} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial L}{\partial \Delta_{зчит}} = 1, \quad c_3 = \frac{\partial L}{\partial \Delta_{зчит}} = 1.$$

Тоді маємо комбіновану невизначеність типу В:

$$u_{cB}(\Delta) = 3,4317 \text{ мкм}.$$

Оцінювання невизначеності Δ , що обумовлена дією випадкових факторів

Будь-яка апіорна інформація для оцінювання Δ за типом В відсутня. Виробник не наводить в паспорті на компаратор нормоване значення випадкової похибки через те, що вона в даному випадку не є інструментальною, адже більшою мірою залежить від властивостей об'єкту та умов вимірювання. Тому дане джерело невизначеності необхідно дослідити.



a_1	b_1	$\Delta x_1 = a_1 - b_1$
a_2	b_2	$\Delta x_2 = a_2 - b_2$
...	...	
a_n	b_n	$\Delta x_n = a_n - b_n$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i), \quad (7)$$

де $u(x_i)$ – стандартна невизначеність (типу А або В) для кожного параметру, вимірюного прямим методом.

Тобто у загальному вигляді можна записати за формулою (5):

$$u_c(l) = \sqrt{u_A^2(\Delta) + u_{cB}^2(\Delta)} = 3.4938 \text{ мкм}.$$

Оцінку розширеної невизначеності результату вимірювання виконуємо для заданого рівня довіри $p=0,95$ за формулою (6):

$$U = k \cdot u_c(y),$$

де $k = t_p(v_{eff}) = 1.9596$ – квантиль розподілу Стьюдента з ефективним числом ступенів

Для оцінки невизначеності вимірювання, зумовленої вкладом випадкових ефектів, було проведено 16 повторних вимірювань розміру деталі одним і тим же оператором за одних і тих же умов. Відповідно до правил експлуатації компаратора [6] виконано: підготовка до роботи, встановлення вимірювального об'єкту та перевірка його розміщення у горизонтальній та вертикальній площині та безпосереднє виконання 16 вимірювань.

За результатами яких отримана стандартна невизначеність результату вимірювання за типом А формула (3):

$$u_A(\Delta) = 0.6557 \text{ мкм}.$$

Тоді комбіновану невизначеність результату вимірювання можна оцінити [2]:

свободи v_{eff} і довірчою ймовірністю (рівнем довіри) p .

Ефективне число ступенів свободи визначається за формулою Велча-Саттерствейта [2]:

$$v_{eff} = \frac{(n-1) \cdot u_c^4}{u_A^4(\Delta)} = 1117.$$

Тоді:

$$k = t_p(v_{eff}) = t_{0.95}(\infty) = 1.9596.$$

$$U(l) = k \cdot u_c(l) = 1,9596 \cdot 0,003494 = 0,006846 \text{ мм}.$$

Записуємо результат із розширеною невизначеністю:

$$L = (40.0005 \pm 0,0068) \text{ мм}, P = 95 \text{ \%}.$$

Складаємо бюджет невизначеності (табл. 1).

**Бюджет невизначеності при вимірюванні лінійного розміру деталі
за допомогою компаратора ІЗА-2**

Величина	Оцінка величини, мм	Стандартна невизначеність	Число ступенів свободи	Розподіл ймовірності	Коефіцієнт чутливості	Внесок у невизначеність
l	40,0005	$u(\Delta_0) = 0.6928 \text{ мкм}$	∞	рівномірний	1	0,6928 мкм
Δ_0						
$\Delta_{зчит}$		$u(\Delta_{зчит}) = 0.2887 \text{ мкм}$	∞	рівномірний	1	0,2887 мкм
Δ		$u_A \left(\Delta \right) = 0.6557 \text{ мкм}$	15	нормальний	1	0,6557 мкм
Δ_t		$u(\Delta_t) = 3.3486 \text{ мкм}$	∞	рівномірний	1	3,3486 мкм
l	40,0005	$u_c(l) = 3.4938 \text{ мкм}$	∞	нормальний	$U(l) = 0,0068 \text{ мм}, p = 0,95$	

Висновки

Суттєві зміни в метрології, що пов'язані із впровадженням в метрологічну практику поняття «невизначеність» для характеристики якості вимірювання, потребують детального аналізу умов вимірювання, схеми вимірювання, технічних характеристики приладу. Це є попередня робота (складання специфікації вимірювання), яка необхідна для всебічного врахування всіх можливих джерел невизначеності при вимірюванні. Використання фонду доступної інформації для оцінювання невизначеності за типом В потребує інтуїції, що заснована на досвіді та загальних знаннях, і є майстерністю, яка набувається практикою.

Оскільки в процедуру контролю та вимірювання введено нову термінологію, тому необхідно особливо ретельно аналізувати і розраховувати «невизначеність», що відповідно підвищує вимоги до персоналу, який має знати та застосовувати методики опрацювання отриманих дослідних даних. Тому на етапі підготовки фахівців із спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» необхідно сформувати навички із застосуванням нового підходу до обробки дослідних даних та подання результату вимірювань.

Сформовані професійні компетентності допоможуть студентам у майбутньому бути конкурентоспроможними на сучасному ринку праці.

В результаті виконання роботи отримано:

1. Модель оцінювання невизначеності результатів лабораторного експерименту на прикладі вимірювання лінійного розміру деталі за допомогою оптичного вимірювального приладу безпосередньої оцінки (горизонтального компаратора).

2. Оцінку складової невизначеності за типом В, яка складається із: стандартної невизначеності, що зумовлена конструктивними особливостями компаратора, при допущенні рівномірного закону розподілу можливих її значень в певних границях $u(\Delta_0) = 0.6928 \text{ мкм}$; стандартної невизначеності, що зумовлена похибкою зчитування показів $u(\Delta_{зчит}) = 0.2887 \text{ мкм}$; стандартної невизначеності від впливу зміни температури $u(\Delta_t) = 3.3486 \text{ мкм}$. Із врахуванням всіх складових визначена комбінована невизначеність типу В $u_{cB}(\Delta) = 3,4317 \text{ мкм}$.

3. Оцінку невизначеності вимірювання, зумовленої вкладом випадкових ефектів. За результатами серії вимірювань отримана стандартна невизначеність результату вимірювання за типом А $u_A \left(\Delta \right) = 0.6557 \text{ мкм}$ із допущенням про нормальний закон розподілу.

4. Оцінку розширеної невизначеності результату вимірювання для заданого рівня

довіри $p=0,95$ та ефективного числа ступенів свободи $\nu_{eff} = 1117$ $U(I) = 0,006846$ мм.

В подальшому необхідно впровадити в навчальний процес: методика оцінку невизначеності групи прямих вимірювань з багаторазовим незалежним спостереженнями на основі дисперсійного аналізу; оцінювання невизначеності опосередкованих корельованих та некорельованих вхідних величин із порівняльним аналізом двох підходів до вираження характеристик точності вимірювання.

Список літератури

1. Guide to expression of uncertainty in measurement. First edition. ISO. Switzerland, 1993.
2. ДСТУ – Н РМГ 43:2006. Застосування "Руководства по выражению неопределенностей измерений" (РМГ 43:2001, IDT).
3. Васілевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 230 с.
4. Ишанин Г. Г., Козлов М. Г., Томский К. А. Основы светотехники. СПб.: Береста, 2004. 292 с.
5. Коцюба А. М. Оцінювання невизначеності вимірювання розміру металічної деталі з допомогою мікрометра [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://metrology.com.ua/neopredelennost/pri-mery-prakticheskikh-zadach/rasshirennaya-neopredelennost-izdeliya>.
6. Інструкція з експлуатації горизонтального компаратора ІЗА-2.
7. РМГ 91-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы.
8. COOMET R/GM/21:2011 Использование понятий “погрешность измерения” и “неопределенность измерения”. Общие принципы.
9. Походун А. И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределённости измерений: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006.

10. Шантир А. С. Оцінювання складових невизначеності при калібруванні растрових електронних наноскопів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. ISSN 1729-3774 1/9 (61), 2013.
11. EA-4/02 М:2013 Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні.

References

1. Guide to expression of uncertainty in measurement (1993): First edition. ISO. Switzerland.
2. DSTU - N RMG 43: 2006. The use of "Guide to measurement uncertainty expression" (RMG 43: 2001, IDT).
3. Vasilevsky, A. M., Kucheruk, V. Yu., Volodarsky, E. T. (2015). Basic theory of measurement uncertainty: a textbook. Vinnitsa: VNTU, 230 p.
4. Ishanyn, G. G., Kozlov, M. G., Tomsky, K. A. (2004). Fundamentals of lighting technology. SPb.: Beresta, 2004. 292 p.
5. Kotsyuba, A. M. Evaluation of measurement uncertainty of sized metallic parts using a micrometer. URL: [<http://metrology.com.ua/neopredelennost/pri-mery-prakticheskikh-zadach/rasshirennaya-neopredelennost-izdeliya>].
6. The Instruction for operating horizontal comparator IZA-2.
7. RMG 91-2009 State system for ensuring the uniformity of measurements. Joint use of concepts “error of measurement” and “uncertainty of measurement”. General principles.
8. COOMET R/GM/21:2011 Use of concepts “error of measurement” and “uncertainty of measurement”. General principles.
9. Pokhodun A. I. (2006). Experimental research methods. Errors and measurement uncertainty. Tutorial. St Petersburg: ITMO.
10. Shantyr, A. S. (2013). Evaluation of uncertainty components in the calibration of scanning electron nanoscopes [Internet]. *Eastern European advanced technology magazine*. ISSN 1729-3774 1/9 (61).
11. EA-4 / M 02: 2013 Expression of measurement uncertainty in the calibration.

R. V. Trembovetska, *Ph.D., associate professor,*
 V. Ya. Halchenko, *Dr. Sc., professor,*
 V. V. Tychkov, *senior lecturer*
 Cherkasy State Technological University
 Shevchnko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
 rustsur@rambler.ru

DETERMINATION AND EVALUATION OF THE UNCERTAINTY OF THE RESULT OF LINEAR DIMENSION MEASURING BY CONTACTLESS METHOD

The work demonstrates the need to establish the reliability of measurement results based on the concept "evaluation of measurement uncertainty" as uncertainty calculation methods are implemented internationally.

The paper purpose is the construction of model uncertainty assessment results of laboratory experiments on the example of linear dimensions of parts using an optical measuring device of direct assessment (horizontal comparator).

In this paper, an example is given consistent presentation of evaluation expanded uncertainty of measurement results for the size of the trust details $p = 0.95$ using comparator IZA-2. In this example demonstrates the use of a new approach to data processing and presenting the measurement result, the skills to help professionals working in the field of measurement.

In the application of new approaches to quality assessment measurements take into account the following basic principles: in many cases, the concept of systematic and random error are inseparable, so their separation does not meet the quality measurement; estimation bias severe requires formulating rules and regulations, they also have to be applied probabilistic assessment; Assessment of quality measurement should be carried out according to international rules, the same for all countries - participants of Metric Convention.

The main task after the experiment is to assess the credibility of the results. For this purpose, the analysis of the components of uncertainty, uncertainty components evaluated by Type B: Standard uncertainty caused by the design of the comparator, assuming uniform of the distribution of possible values within certain boundaries $u(\Delta_0) = 0.6928 \mu\text{m}$; Standard uncertainty that caused an error reading impressions $u(\Delta_{\text{зчит}}) = 0.2887 \mu\text{m}$, Standard uncertainty of the impact of temperature changes $u(\Delta_t) = 3.3486 \mu\text{m}$.

In light of all components defined combined uncertainty of type B $u_{c_B}(\Delta) = 3,4317 \mu\text{m}$.

For the estimation of measurement uncertainty, due to the contribution of random effects, a series of repeated measurements of the size of parts by the same operator under the same conditions. According to the rules of operation of the comparator fulfilled: preparation for work, installation of the measuring object and check its placement in the horizontal and vertical planes and performing a series of measurements. The results obtained are standard uncertainty of the measurement result by type A $u_A(\Delta) = 0.6557 \mu\text{m}$ with the assumption of the normal distribution.

The estimations expanded uncertainty of the measurement result for a given level of confidence $p = 0.95$ and an effective number of degrees of freedom $\nu_{\text{eff}} = 1117$ $U(l) = 0,006846 \text{ mm}$.

Compiled budget uncertainty in the measurement of linear dimensions of parts using the comparator YZA-2.

Keywords: *measurement results reliability; uncertainty of measurement; standard uncertainty; total standard uncertainty (combined); expanded uncertainty; uncertainty of the type A; uncertainty of the type B.*

Статтю представляє В. Я. Гальченко, д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.