

---

УДК535.241.61

Л.А. Назаренко, С.А. Рева, Д.П. Зубков

*Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків*

## **ОЦІНКА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СВІТЛА НА ГОНІОФОТОМЕТРІ GO-2000H**

*Представлені матеріали щодо оцінки невизначеності вимірювання сили світла на автоматичному гоніофотометрі Everfine GO-2000H та наведена методика розрахунку невизначеності вимірювання.*

**Ключові слова:** *гоніофотометр, сила світла, оцінка невизначеності*

### **Постановка проблеми**

В останні роки в нашій країні та, зокрема, в місті Харкові, значно зріс попит на розробку та впровадження енергоефективних джерел світла та приладів на їх основі. Звичайно, що будь-який створений світловий прилад чи джерело світла повинні бути перевірені на відповідність заявленим характеристикам. Окрім того, велика кількість імпортованого товару також потребує перевірки на відповідність вимогам нормативних документів. Таку процедуру можливо виконати в фотометричній лабораторії, оснащений гоніофотометром для вимірювання прос-

торового розподілу сили світла та світлового потоку. Також сучасні гоніофотометри дозволяють зберігати результати вимірювання у файлах фотометричних даних різних форматів, які в подальшому використовуються світлотехніками та світлодизайнерами для розробки проектів освітлення.

Зважаючи на цю необхідність, на базі кафедри "Світлотехніка та джерела світла" Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова створено незалежний Центр світлотехнічних вимірювань світлових приладів та джерел світла [1]. Завданням центру є проведення вимірювань для визначення дійсних та підтвердження

заявлених виробником характеристик досліджуваних приладів.

Одним з основних робочих інструментів Центру є автоматизований гоніофотометр Everfine GO-2000H (рис. 1), який складається з поворотного механізму (зображений на фото), фотоприймача, блоку керування та блоку живлення досліджуваного зразка. Процес вимірювання виконується в так званій «темній кімнаті» – фотометричному тунелі довжиною 16 метрів, в якому всі поверхні пофарбовані чорною фарбою для зниження впливу розсіяного світла. Поворотний механізм та фотоприймач встановлюються на різних кінцях приміщення. Процес вимірювання просторового розподілу сили світла передбачає обертання поворотним механізмом досліджуваного зразка навколо його фотометричного центру та послідовні вимірювання сили світла в напрямі фотоприймача.



Рис. 1. Гоніофотометр Everfine GO-2000H в темній кімнаті зі змонтованим досліджуваним зразком

Виробником приладу надано інформацію лише про величину невизначеності вимірювання освітленості фотоприймачем. Водночас стандартні методики чи рекомендації в національних стандартах відносно встановлення невизначеності для даного виду вимірювань наразі відсутні [2, 3].

Таким чином, виникла необхідність оцінювання невизначеності вимірювання сили світла гоніофотометром та розробки відповідної методики розрахунку.

### Оцінювання невизначеності вимірювання сили світла

Фотоприймач калібрований по освітленості, тобто знаючи відстань між джерелом світла та прий-

мачем, керуючись законом зворотних квадратів, легко визначити силу світла в конкретному напрямі. Оцінювання невизначеності вимірювання проводилось у відповідності до [4]. Для розрахунку невизначеності використовується наступна формула вимірювання [5]:

$$I = \frac{E \cdot K^* \cdot \ell^2}{\cos(\alpha)}, \quad (1)$$

де  $E$  – освітленість, виміряна фотометром, лк;  $K^*$  – коефіцієнт корекції спектральної невідповідності;  $\ell$  – відстань вимірювання, м;  $\alpha$  – кут повороту фотометра відносно фотометричної осі.

Визначаємо формули коефіцієнтів чутливості (2 – 5) для складових формули невизначеності вимірювання сили світла:

$$c_1 = \frac{\partial I}{\partial \ell} = \frac{2 \cdot E \cdot K^* \cdot \ell}{\cos(\alpha)}; \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{\partial I}{\partial E} = \frac{E \cdot K^* \cdot \ell^2}{\cos(\alpha)}; \quad (3)$$

$$c_3 = \frac{\partial I}{\partial \alpha} = \frac{E \cdot K^* \cdot \ell^2 \cdot \sin(\alpha)}{\cos^2(\alpha)}; \quad (4)$$

$$c_4 = \frac{\partial I}{\partial K^*} = \frac{E \cdot \ell^2}{\cos(\alpha)}. \quad (5)$$

Остаточна формула сумарної невизначеності вимірювання сили світла має такий вигляд:

$$\begin{aligned} (u_c(I))^2 = & (c_1 \cdot u(\ell))^2 + (c_2 \cdot u(E))^2 + \\ & + (c_3 \cdot u(\alpha))^2 + (c_4 \cdot u(K^*))^2, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $u(\ell)$  – невизначеність вимірювання відстані, м;  $u(E)$  – невизначеність вимірювання освітленості, лк;  $u(\alpha)$  – невизначеність встановлення кута;  $u(K^*)$  – невизначеність розрахунку коефіцієнту корекції спектральної невідповідності.

### Невизначеність вимірювання відстані

Вимірювання проводиться за допомогою лазерного далекоміра Bosch GLM 50 (похибка вимірювання становить не більше  $\pm 1,5$  мм) та штангенциркуля (похибка вимірювання становить не більше  $\pm 0,1$  мм).

Необхідність використання двох інструментів зумовлена відсутністю інформації про геометричні розміри корпусу фотометричної голівки та її тримача. Для їх визначення були проведені вимірювання та створено відповідне креслення (рис. 2), на якому розмір в рамці визначений за допомогою штангенциркуля.

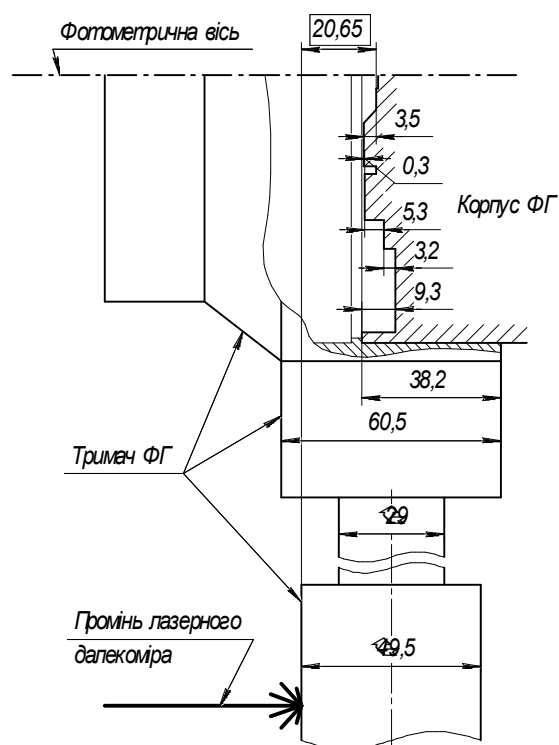


Рис. 2. Перетин фотометричної голівки та тримача

Виходячи з рівномірного розподілу похибки, визначаємо невизначеність вимірювання далекоміром та штангенциркулем як:

$$u_{\text{GLM50}} = \frac{1,5}{\sqrt{3}} = 1,2247 \text{ мм}$$

та

$$u_{\text{ШЦ}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,0577 \text{ мм.}$$

Сумарна невизначеність вимірювання відстані визначається як:

$$u(\ell) = \sqrt{(u_{\text{GLM50}})^2 + (u_{\text{ШЦ(1)}})^2 + \dots + (u_{\text{ШЦ(9)}})^2} \quad (7)$$

Бюджет невизначеності вимірювання відстані зведений у табл. 1.

Для типової відстані вимірювання – 13863 мм, відносна стандартна невизначеність становить:

$$u_{\text{відн}}(\ell) = \frac{1,2368}{13863} \cdot 100\% = 0,01\%.$$

Таблиця 1

Бюджет невизначеності вимірювання відстані

№	Складова	Тип	Стандартна невизначеність, мм
1	Вимірювання відстані лазерним далекоміром	Б	1,2247
2	Вимірювання відстані штангенциркулем (1)	Б	0,0577
...	- // -	- // -	- // -
10	Вимірювання відстані штангенциркулем (9)	Б	0,0577
Сумарна стандартна невизначеність вимірювання відстані, $u(\ell)$			1,2368

### Похибка юстування фотометра

Співвісність фотометру та фотометричної вісі гоніометра встановлюється за допомогою юстувального лазера. На рис. 3 зображено процес юстування, при якому юстувальний лазер закріплюється в тримачі поворотного блоку гоніофотометру та наводиться на фотометр. Фотометр в свою чергу оснащений кришкою з дзеркалом, яке відбиває промінь лазера в зворотному напрямі. При цьому відбиття променя встановлюється візуально.

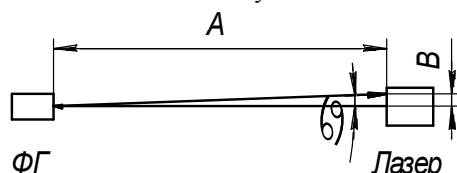


Рис. 3. Положення фотометра (ФГ) та лазера при юстуванні

Похибка юстування (розмір В, рис. 3) складає не більше 10 мм. При відстані вимірювання 13863 мм похибка встановлення кута не більша за 0,041°. Згідно формули (4) коефіцієнт чутливості по

встановленню кута близький до нуля, тому даною складовою в загальному бюджеті можна знехтувати.

### Невизначеність вимірювання освітленості

Оскільки невизначеність вимірювання освітленості фотометром відома з паспорту на прилад, нижче наведено лише загальну інформацію у вигляді табл. 2:

Таблиця 2

Невизначеність вимірювання освітленості фотометром

№	Діапазон значень вимірюваної величини, лк	$U(k=2)$
1	$3 \leq E \leq 30$	1,2%
2	$30 \leq E \leq 1500$	1,0%
3	$1500 \leq E \leq 3000$	1,4%

### Похибка спектральної невідповідності

Як правило калібрування фотометрів відбувається відносно джерела типу А. Якщо спектральний

склад випромінювання досліджуваного джерела відрізняється від джерела типу А, то невідповідність спектральної чутливості фотометра до спектральної світлової ефективності (функція  $V(\lambda)$ ) призводить до похибки [2, 3].

Таку похибку можна компенсувати ввівши коефіцієнт спектральної корекції ( $K^*$ ). Але визначення самого коефіцієнта також матиме певну невизначеність, що до того ж потребує використання спектрометра, який не входить до комплексу гоніофотометру.

Якщо спектральна корекція не доцільна з вище зазначених причин, то значення коефіцієнту необхідно взяти рівним 1, а в загальний бюджет невизначеності додати значення з табл. 3, дані якої отримані шляхом математичного моделювання вимірювання джерел світла зі спектрами різного типу.

Таблиця 3  
Коефіцієнт спектральної корекції та невизначеність вимірювання, яка виникає без його врахування (тобто  $K^* = 1$ )

Тип джерела світла	Коефіцієнт спектральної корекції, $K^*$	Відносна стандартна невизначеність, без урахування $K^*$ , %
Натрієва лампа (Philips HPS SON-T)	1,003	0,173
Потужний світлодіод білого світла (Cree XLamp XP-E)	1,007	0,404

### Розширена невизначеність результату вимірювання сили світла

Розширена невизначеність визначається як:

$$U = k \cdot u_c(I), \quad (8)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення,

$u_c(I)$  – невизначеність вимірювання

При цьому коефіцієнт  $k$  залежить від закону розподілу вхідних величин. В нашому випадку ве-

личини мають нормальний або рівномірний закон розподілу, тому при використанні коефіцієнту покриття  $k=2$  ми отримуємо довірчий інтервал не менше 95%, чого достатньо у більшості випадків.

### Висновки

Розроблена методика обчислення невизначеності вимірювання сили світла на гоніофотометрі Everfine GO-2000H.

Результат розрахунку показав, що невизначеність вимірювання сили світла при поточних налаштуваннях системи рівна  $U = 1,44\%$  ( $k = 2$ ), при чому основною складовою є невизначеність фотометра, яка складає максимум  $U = 1,4\%$  ( $k = 2$ ) в найгіршому випадку.

Подальшого дослідження потребує розрахунок вкладу в невизначеність розсіяного світла, викликаного недосконалістю покриття стін приміщення темної кімнати.

### Список літератури

1. Центр світлотехнічних вимірювань [Веб-сайт кафедри "Світлотехніка та джерела світла" ХНУМГ ім. О.М. Бекетова] / – URL: <http://sds.kname.edu.ua/>.
2. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров : ГОСТ 17616-82. — [Действует с 01.01.83] — М: Издательство стандартов, 1983. — 50 с.
3. Светильники. Общие технические условия : ГОСТ 17677-82. — [Действует с 01.01.83] — М: Издательство стандартов, 1982. — 59 с.
4. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement : JCGM 100:2008. — [GUM 1995 with minor corrections] — s.l.: s.n., September 2008. — 134 с.
5. The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions : CIE 70-1987. — s.l.: s.n., 1987. — 44 с. — ISBN 978 3 900734 05 3.

Надійшла до редколегії 11.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

### ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ СВЕТА НА ГОНИОФОТОМЕТРЕ GO-2000H

Л.А. Назаренко, С.А. Рева, Д.П. Зубков

Представлены материалы по оценке неопределенности измерения силы света на автоматическом гониофотометре Everfine GO-2000H и приведена методика расчета неопределенности измерения.

**Ключевые слова:** гониофотометр, сила света, оценка неопределенности.

### EVALUATION OF UNCERTAINTY IN LUMINOUS INTENSITY MEASUREMENTS ON THE GONIOPHOTOMETER GO-2000H

L.A. Nazarenko, S.A. Reva, D.P. Zubkov

The materials estimating the uncertainty in luminous intensity measurements on automatic goniophotometer Everfine GO-2000H and method of calculating the measurement uncertainty.

**Keywords:** goniophotometer, luminous intensity, uncertainty evaluation.