

Література

1. Прокофьев О. Е. Методы соединения оптических деталей / О. Е. Прокофьев, Г. Ф. Пищук, В. С. Чередник, Г. А. Куршев. – К.: Техника, 1984. – 129 с.
2. Paul R. Mounting Optics in Optical Instruments / R. Paul, Jr. Yoder - SPIE PRESS, 2002. – 589 p.
3. Каледин Б. Ф. Крепление оптических деталей эластичными материалами. – М.: Машиностроение, 1990. – 160 с.
4. Маслов В. П. Физико-технологические проблемы обеспечения работоспособности оптоэлектронных сенсорных приборов при экстремальных условиях // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – 2005. – № 1. – С. 57 – 62.
5. Патент на корисну модель № 12202, Україна, МПК H05B 1/00, H05B 3/16, B81C 3/00, G02B 11/00. Узел з'єднання Маслова деталей зі склокристалічних матеріалів / В. П. Маслов Заявка № u2005 08308 від 25.08.2005. Опубл. 16.01.2006. Бюл. № 1.
6. Maslov V. Unknown properties of aluminum nano-layer in unglue assemblage of ZERODUR parts // American Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2013. – № 1. – pp. 70 – 73.
7. Патент на корисну модель №72363, Україна, МПК C09J 163/10. Спосіб виготовлення клейової композиції МАКК / Маслов В. П., Качур Н. В., Казакевич М. Л. Заявка № u 2012 03407 від 21.03.2012. Опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15.
8. Патент на корисну модель №39789, Україна, МПК G01N 21/21 Пристрій для контролю якості оптичних матеріалів / Венгер Є. Ф., Сердега Б. К., Маслов В. П., Качур Н. В. Заявка № u 2008 12413 від 22.10.2008. Опубл. 10.03.2009. Бюл. № 5.
9. Сердега Б. К. Модуляційна поляриметрия: монографія. – К.: Наукова думка, 2011. – 260 с.
10. Маслов В. П. Фізико-технологічні проблеми з'єднання прецизійних деталей оптико-електронних приладів: монографія. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 160 с.

Надійшла до редакції
11 лютого 2014 року

© Маслов В. П., 2014

УДК 535.241

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДУ «ІНТЕГРУЮЧОЇ СФЕРИ» ТА
ГОНІОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ**

^{1)Ковтун Ю. Ю., ^{1)Маркін М. О., ^{2)Корнага В. І., ^{2)Рибалочка А. В., ^{3)Агінський Ю. А.}}}}}

^{1)Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна; ^{2)Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ, м. Київ, Україна; ^{3)Вища технічна школа Бремена, м. Бремен, Німеччина}}}

В статті наведено опис методу «інтегруючої сфери» та гоніометричного методу визначення світлового потоку. Проаналізовані їх особливості, переваги та відмінність один від одного. Представлені та проаналізовані результати вимірювання світлового потоку зразків лампи розжарювання, світлодіодної лампи та компактної люмінесцентної лампи (КЛЛ) за допомогою цих двох методів. Експериментальне порівняння цих методів визначення світлового потоку для зразків трьох ламп показали, що за швидкістю вимірювання метод «інтегруючої сфери» має явну перевагу над гоніофотометричним методом.

Ключові слова: світловий потік, інтегруюча сфера, гоніометр.

Вступ

Розробка, впровадження та експлуатація освітлювальних пристроїв вимагає

контролю їх світлових та електричних параметрів. Світловими параметрами освітлювальної системи є сила світла, світловий потік, яскравість, освітленість, яку вона створює на освітлювальних поверхнях, коефіцієнт пульсацій освітленості, колориметричні параметри (спектральна характеристика, координати колірності, корельована колірна температура, індекс кольоропередачі) тощо. Електричними параметрами є потужність споживання, струм та напруга споживання, коефіцієнт потужності, коефіцієнт гармонічних спотворень напруги та струму і т.п. Одним із найважливіших світлотехнічних параметрів є світлова віддача, яка характеризує ефективність перетворення електричної енергії в світлову та визначається як відношення значення світлового потоку освітлювальної системи до її потужності споживання.

Для визначення світлового потоку зазвичай використовується гоніометричний метод чи метод «інтегруючої сфери». В роботі представлені та проаналізовані ці два методи із зазначенням їх особливостей, переваг та відмінностей один від одного. Безпосереднє їх порівняння реалізовано шляхом визначення світлового потоку зразка лампи розжарювання, світлодіодної лампи та КЛЛ за допомогою цих двох методів та аналізом отриманих результатів.

Гоніометричний метод вимірювання світлового потоку

Гоніометричний метод визначення світлового потоку полягає у вимірюванні просторового розподілу сили світла, який створює об'єкт дослідження за допомогою гоніометра та фотоприймача. Для цього простір, що оточує джерело, ділиться на площини, в яких вимірюються залежності сили світла від напрямку спостереження (КСС – криві сили світла).

Існує три найбільш поширені системи площин виміру, так звані А-, В- і С-площини [1]. Кути напрямів вимірювання в кожній із площин мають відповідно позначення α -, β - і γ -кут.

Система А-площин - це система площин виміру, лінія перетину яких проходить через фотометричний центр джерела світла, що паралельна випромінюючій поверхні та перпендикулярна поздовжньої осі джерела світла (рис.1).

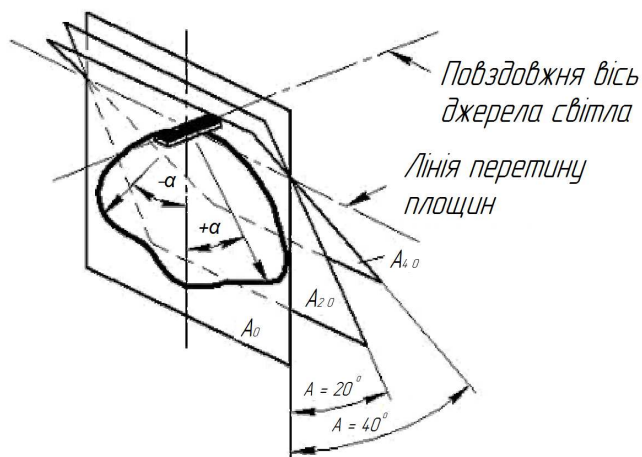


Рис. 1. Система А-площин

Система В-площин - система площин виміру, лінія перетину яких проходить через фотометричний центр джерела світла, яка паралельна поздовжній осі джерела (див. рис.2).

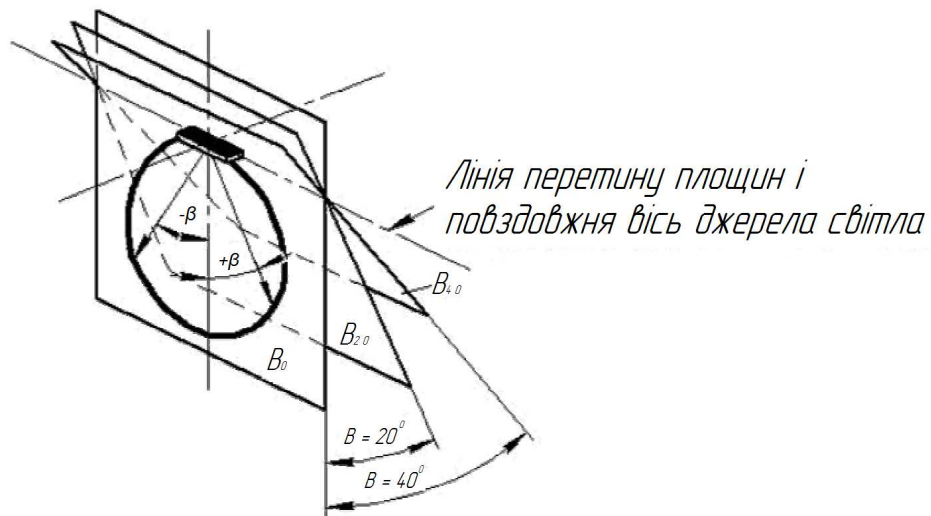


Рис. 2. Система В-площин

Система С-площин – система площин виміру, лінія перетину яких збігається із оптичною віссю джерела світла та перпендикулярна випромінюючій поверхні (див. рис. 3).

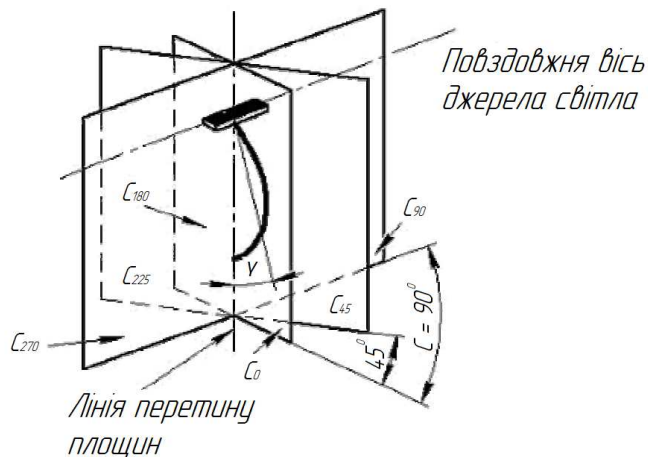


Рис. 3. Система С-площин

Чим більша кількість площин обраних для вимірювання і менший кут між напрямками кожного вимірювання в цих площинах, тим вище буде точність визначення величина світлового потоку, але відповідно збільшиться й тривалість вимірювання.

Основні переваги гоніометричного методу: вимірювання КСС; висока точність; відсутність потреби використання еталонних джерел світла.

Основні недоліки: тривалість вимірювань; необхідність проведення вимірювань в «чорній кімнаті» [2].

Метод «інтегруючої сфери» для вимірювання світлового потоку

Для визначення світлового потоку за допомогою методу «інтегруючої сфери» використовується інтегруюча сфера у вигляді пустотілої сфери, внутрішня поверхня якої покрита світловідбиваючим шаром BaSO_4 [3], та фотометр з V_λ -фільтром, або спектрометр. Інтегруючі сфери ще називають сферами Ульбріхта на честь вченого, який теоретично обґрунтував можливість їх практичного використання для вимірювання світлового потоку з огляду на те, що освітленість внутрішньої поверхні сфери пропорційна повному світловому потоку джерела світла, яке в ній розміщено.

При використанні фотометру можливе вимірювання світлового потоку лише відносним порівнянням показників фотометру для дослідного зразка із відповідними показниками для еталонного зразка з відомим світловим потоком.

Застосування спектрометру в таких системах, після проведення відповідних процедур калібрування, дозволяє визначати як світловий потік, так і спектральну характеристику випромінювання дослідного зразка, з якої можна визначити такі його колірні характеристики, як корельована колірна температура (CCT), індекс кольоропередачі (R_a), координати колірності (x, y), (u', v'), пікова довжина хвилі (L_p) тощо.

У порівнянні з гоніофотометричним методом визначення світлового потоку відбувається значно швидше, але для забезпечення високої точності вимірювань необхідна подібність просторового розподілу сили світла дослідного зразка до еталонного, а також діаметр інтегруючої сфери має бути в 6-10 разів більшим за максимальний лінійний розмір об'єкту досліджень. Існують можливості визначення світлового потоку об'єктів в інтегруючій сфері з просторовим розподілом сили світла відмінним від еталонного зразка та розміром лише у 4-5 разів меншими за її діаметр, але для цього вони потребують додаткового устаткування [4].

Основні переваги методу «інтегруючої сфери»:

- швидкість вимірювань;
- відсутність необхідності розташування системи в «чорній кімнаті».

Основні недоліки:

- відсутність можливості визначення КСС;
- необхідність використання еталонного джерела світла;
- обмеження по розміру джерел світла.

Експеримент

В експериментальному порівнянні результатів визначення світлового потоку за допомогою методу «інтегруючої сфери» та гоніометричного методу були використані наступні зразки ламп: лампа розжарювання (60 Вт, 24 В) в режимі

живлення постійним струмом 2,5А, світлодіодна лампа (9 Вт, 220 В) СДЛ-9/127-220-212 У2 виробництва компанії «ВАТРА» та КЛЛ (18 Вт, 220 В) DULUXSTAR Mini Twist виробництва компанії «OSRAM».

Визначення світлового потоку методом "інтегруючої сфери"

При проведенні вимірювань методом "інтегруючої сфери" використовувалась система, що складається з інтегруючої сфери діаметром 1 м та спектрорадіометру «НААС-2000» виробництва компанії «Everfine».

Ця система має наступні основні технічні характеристики:

- 1) спектральний діапазон вимірювання: 380 нм ~ 780 нм;
- 2) точність визначення довжини хвилі: $\pm 0,3$ нм;
- 3) фотометрична лінійність: $\pm 0,3\%$;
- 4) точність координат колірності: $\pm 0,0015$;
- 5) діапазон вимірювання корельованої колірної температури: 1000 К ~ 100000 К;
- 6) діапазон вимірювання світлового потоку: 10 лм ~ 20 000 лм;
- 7) час інтегрування (тривалість вимірювання): 9мс ~ 60с;
- 8) максимальний лінійний розмір об'єкту досліджень: 15 см.

Калібрування цієї системи здійснюється в два етапи:

- 1) калібрування по довжині хвилі;
- 2) калібрування по світловому потоку та корельованій колірній температурі.

Калібрування по довжині хвилі реалізується за допомогою натрієвої або ртутної лампи, в спектрах яких є піки з відомими фіксованими довжинами хвиль, а для калібрування по світловому потоку та корельованій колірній температурі необхідне еталонне джерело світла з відомими значеннями цих параметрів.

Границі допустимої відносної похибки вимірювань значення світлового потоку на даній системі складає $\pm 5\%$ [5].

Блок-схема вищеописаної системи наведено на рис. 4.

Дослідний зразок лампи (Лампа 1) вкручується в патрон 2, який закріплений на рухомій штанзі 3. За допомогою фіксаторів 4 досягають суміщення оптичного центру Лампи 1 із центром сфери.

Оптоволоконний кабель 5 забезпечує попадання необхідного для визначення світлового потоку та спектрального складу випромінення дослідного джерела світла сигналу на Спектрорадіометр 6.

Керування системою та обробка результатів здійснюється за допомогою комп'ютера 7 зі спеціальним програмним забезпеченням.

На рис. 5 та рис. 6 наведені залежність світлового потоку та корельованої колірної температури від часу роботи лампи розжарювання.

З них видно, що з моменту вмикання найбільша зміна параметрів лампи розжарювання відбувається за перші три хвилини, а за наступний проміжок часу параметри лампи практично не змінюються. Тому часу розігріву 5-10 хвилин буде досить для стабілізації параметрів цього об'єкту досліджень.

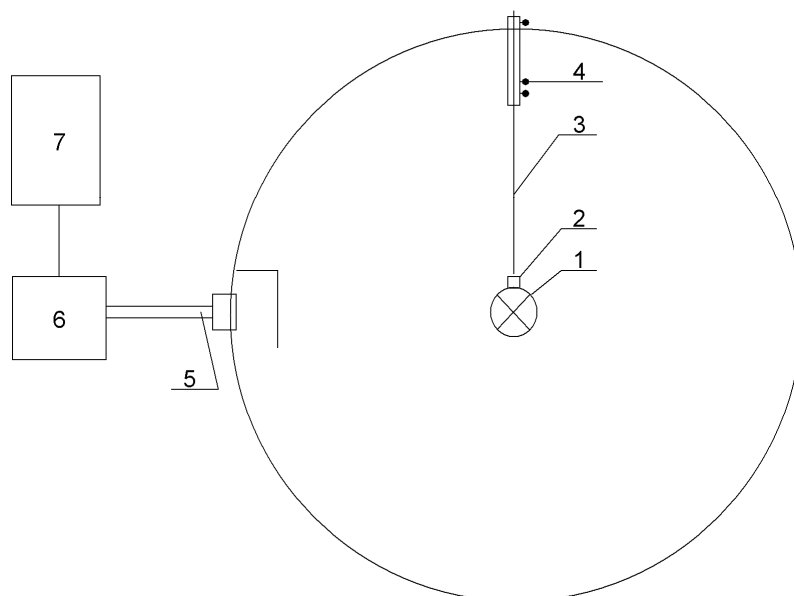


Рис. 4. Блок-схема системи для вимірювання світлових параметрів методом «інтегруючої сфери»

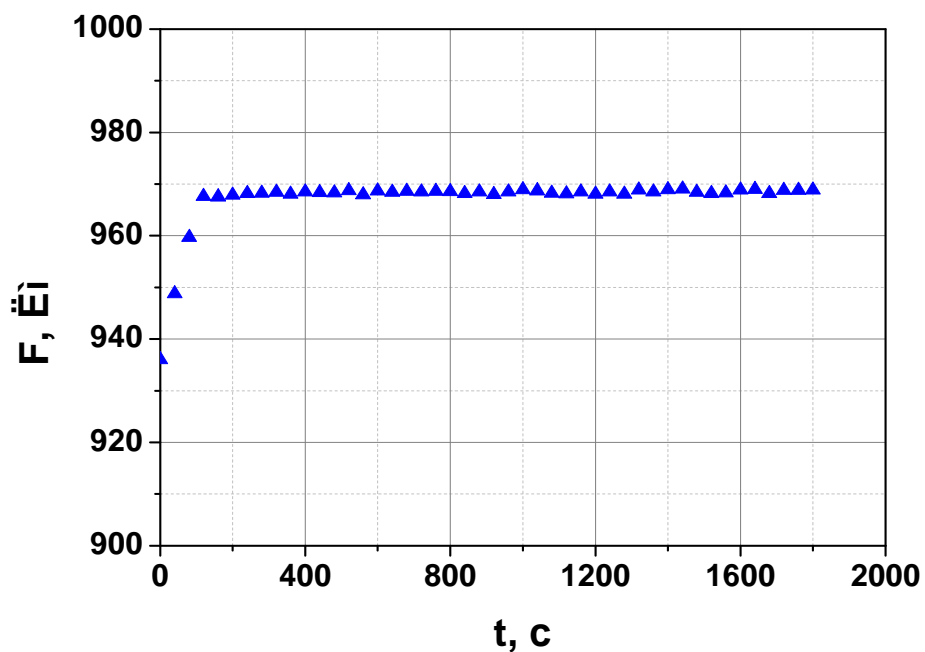


Рис. 5. Зміна світлового потоку протягом однієї години з моменту вмикання лампи розжарювання

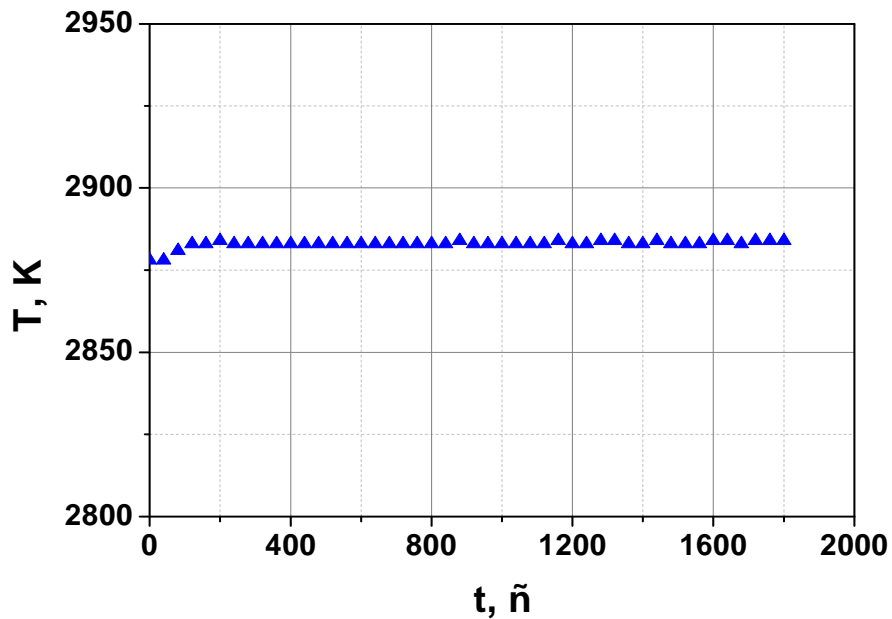


Рис. 6. Зміна корельованої колірної температури протягом однієї години з моменту вмикання лампи розжарювання

Аналогічним чином було проведено визначення часу стабілізації світлових параметрів після вмикання для зразків світлодіодної лампи та КЛЛ, які склали 60 хвилин на 50 хвилин, відповідно.

Значення світлового потоку, які були отримані для цих трьох зразків ламп, склали: лампа розжарювання – 968,9 лм, світлодіодна лампа – 537,7 лм та КЛЛ – 1178,0 лм.

Визначення світлового потоку гоніометричним методом

При проведенні вимірювань гоніометричним методом використовувався гоніофотометр «GO-2000» виробництва компанії «Everfine», який відноситься до гоніофотометрів з рухомим джерелом світла (Рис.7).

Фотометрична головка 1 знаходиться на відстані 5,75 м від фотометричного центру дослідної лампи, яка монтується в патрон 3 і знаходиться на фотометричній осі 2.

Основні технічні характеристики гоніофотометру «GO-2000»:

- 1) забезпечує вимірювання в системах В- та С- площин;
- 2) точність встановлення кута: $\pm 0,1^\circ$;
- 3) діапазон вимірювання освітленості: 0,0001 лк ~ 200 клк;
- 4) діапазон відстані від фотометричного датчику до фотометричного центру об'єкту вимірювань на гоніометрі: 2 м – 12 м;
- 5) максимальний розмір об'єкта досліджень: 2 м \times 2 м;
- 6) максимальна вага джерела світла: 60 кг.

Гоніофотометр «GO-2000» розташований в чорній кімнаті, що дозволяє максимально зменшити вплив на результати вимірювань перевідбитого від поверхонь кімнати світла.

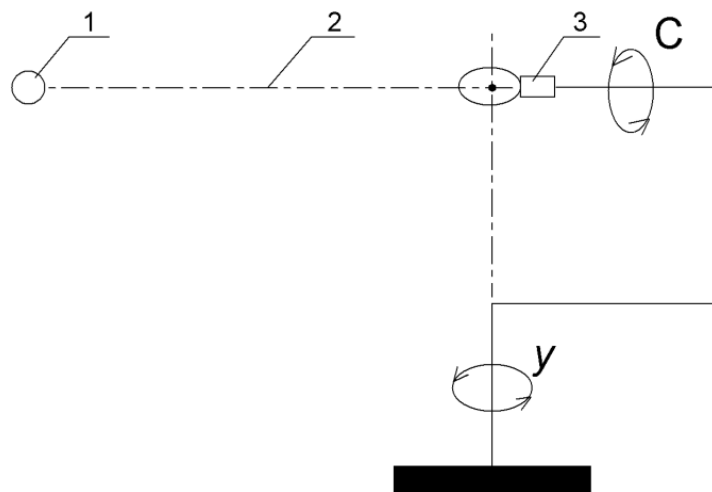


Рис. 7. Схематична діаграма для вимірювань світлових параметрів гоніометричним методом

Вимірювання проводяться після попереднього розігріву ламп протягом часу необхідного для стабілізації значень їх світлових параметрів. Відносна похибка визначення світлового потоку на даній системі складає $\pm 5\%$ [5].

Приклад КСС лампи розжарювання, яку було отримано під час визначення її світлового потоку на гоніофотометрі «GO-2000», наведено на рис. 8.

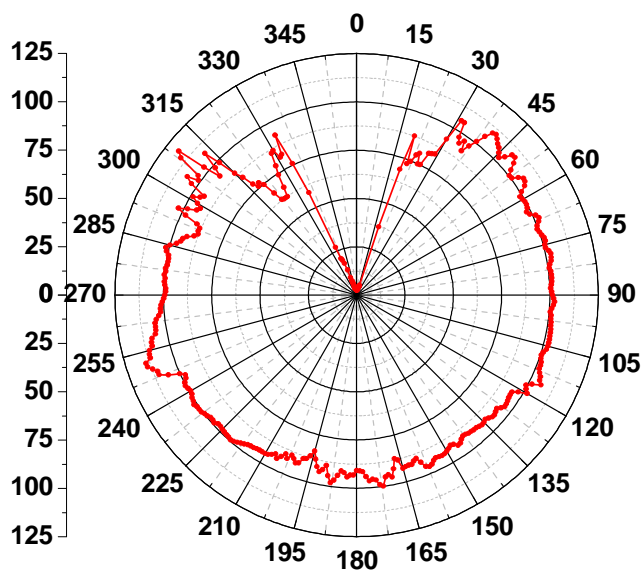


Рис. 8. КСС лампи розжарювання

Саме на підставі вимірювання аналогічних КСС в С- площинах для всіх зразків ламп, що задіяні в експерименті, і здійснюється розрахунок значень їх світлового потоку: лампа розжарювання – 952,6 лм, світлодіодна лампа – 533,1 лм, КЛЛ – 1134,2 лм.

Аналіз отриманих результатів

Тривалість вимірювання світлового потоку методом "інтегруючої сфери" після встановлення зразка в систему склало:

- для лампи розжарювання: прогрів – 10 хв, вимір – 339 мс;
- для світлодіодної лампи: прогрів – 60 хв, вимір – 600 мс;
- для КЛЛ: прогрів – 50 хв, вимір – 49 мс.

Тривалість вимірювання світлового потоку гоніометричним методом після встановлення зразка на гоніометр склало:

- для лампи розжарювання: прогрів – 10 хв, вимір – 67 хв;
- для світлодіодної лампи: прогрів – 60 хв, вимір – 67 хв;
- для КЛЛ: прогрів – 50 хв, вимір – 67 хв.

Отримані результати демонструють різницю значень світлового потоку отриманих за допомогою методу «інтегруючої сфери» від значень, що були отримані гоніометричним методом в межах похибки вимірювань:

- для лампи розжарювання: $\Delta_{\text{ЛР}} = (968,9 - 952,6) \text{ лм} = 16,3 \text{ лм} (1,7\%)$;
- для світлодіодної лампи: $\Delta_{\text{СД}} = (537,7 - 533,1) \text{ лм} = 4,6 \text{ лм} (0,9\%)$;
- для КЛЛ: $\Delta_{\text{КЛЛ}} = (1178,0 - 1134,2) \text{ лм} = 43,8 \text{ лм} (3,7\%)$.

Висновки

Експериментальне порівняння методу «інтегруючої сфери» та гоніометричного методу визначення світлового потоку для зразків трьох ламп (лампа розжарювання, світлодіодна лампа та КЛЛ) показали, що за швидкістю вимірювання метод «інтегруючої сфери» (тривалість вимірювання – порядку секунди) має явну перевагу над гоніофотометричним методом (тривалість вимірювання – більше години).

Також для проведення вимірювань на гоніофотометрі необхідне його розташування у спеціальній «чорній кімнаті» зі світлопоглинаючими поверхнями стін. Однак метод «інтегруючої сфери» накладає значно більше обмеження на фізичний розмір об'єктів дослідження, яке для інтегруючої сфери діаметром 1 м складає 15 см. Водночас, для використаного гоніофотометру максимальний розмір об'єкту складає 2 м × 2 м.

Також гоніофотометр дозволить визначати криві сили світла освітлювальних систем, що дуже важливо для аналізу якості освітлювальних об'єктів спеціального призначення (вуличні світильники, стельові світильники, прожектори, світлофори тощо).

Безпосередньо результати вимірювання значень світлового потоку зразків лампи розжарювання, світлодіодної лампи та КЛЛ за допомогою цих двох методів демонструють співпадіння в межах похибки вимірювань.

Література

1. Зубков Д. П. «Гоніометричний метод вимірювання світлодіодів» // Світлотехніка та енергетика. – 2011. – № 4. – С. 30 – 37.
2. ГОСТ Р 54350-2011 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний.
3. ГОСТ 17616-82 Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров.
4. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы). – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Галузь атестації науково-дослідної лабораторії «Центр випробувань і діагностики напівпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі» Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова на проведення вимірювань у сфері та поза сферою поширення державного метрологічного нагляду, № 186-12 від 27 грудня 2012 р.

*Надійшла до редакції
15 травня 2014 року*

©Ковтун Ю. Ю., Маркін М. О., Корнага В. І., Рибалочка А. В., Агінський Ю. А., 2014