

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методів розрахунку МДВ з врахуванням аберацій оптичної системи та розробку спеціальних алгоритмів адаптивної розгортки зображення на МПВ для збільшення МДВ.

#### **Література**

1. Колобродов В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування): підручник / В.Г. Колобродов, Н. Шустер. – К.: НТУУ «КПІ», 1999. – 340 с.
2. Колобродов В.Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: підручник / В.Г. Колобродов, М.І. Лихоліт. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 364 с.
3. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: учебное пособие. – Л.: Машиностроение, 1977. – 600 с.

#### **В. Г. Колобродов, О. О. Наздравецкий**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

#### **ВЛИЯНИЕ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА НА МАКСИМАЛЬНУЮ ДАЛЬНОСТЬ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ**

Предложен метод расчета максимальной дальности выявления оптико-электронной системы наблюдения в случае присутствия в поле зрения точечного источника, который движется произвольно.

**Ключевые слова:** тепловизионная система, оптико-электронная система наблюдения, матричный приемник излучения, подвижный объект, максимальная дальность выявления.

#### **V.G. Kolobrodov, O.O. Nazdravetsky**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

#### **INFLUENCE OF MOTION OF OBJECT IS ON MAXIMAL DISTANCE OF EXPOSURE OF THE INFRARED SYSTEM OF SUPERVISION.**

The method of calculation of maximal distance of exposure of the optical-electronic system of supervision is offered in the case of being in sight point source which moves arbitrarily.

**Keywords:** infrared imaging system, optical-electronic system of supervision, matrix sensor of radiation, mobile object, maximal distance of detection.

*Надійшла до редакції  
12 червня 2010 року*

УДК 629.78

### **РАДИОМЕТРИЯ І МЕТРОЛОГІЯ СВІТЛОДІОДІВ**

*Дідух Н.І., Міхеєнко Л.А., Свєшніков В.С., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

*В роботі представлений огляд та аналіз методів вимірювання радіометричних характеристик світлодіодів. Розроблено зручну для повторення установку, що дозволяє вимірювати основні параметри світлодіодів на основі наявного і доступного в Україні метрологічного устаткування та елементної бази. Проаналізовані основні похибки вимірювань радіометричних характеристик світлодіодів, надані рекомендації щодо їх мінімізації. Результати роботи будуть корисні фахівцям в області прецизійної радіометрії та розробникам елементів оптико-електроніки.*

**Ключові слова:** світлодіоди, радіометрія, метрологія.

## **Вступ**

Наразі продовжується інтенсивний розвиток світлодіодів (СД) і світлодіодних освітлювачів, але, якщо раніше основною функцією цих пристроїв була індикація, то зараз пріоритетними напрямками вважається розробка над'яскравих СД для освітлення та високостабільних СД середньої потужності для вимірювальної техніки [1 - 2]. Вочевидь вдосконалення існуючих і розробка перспективних СД неможливі без випереджаючого розвитку методів і засобів вимірювань їх характеристик і параметрів. І, якщо це завдання вельми успішно вирішується за кордоном [2 - 4], то для України, де початі аналогічні роботи, вона значно ускладнена недостатнім рівнем методичної, вимірювальної і еталонної баз.

Метою роботи є аналіз відомих методів вимірювання радіометричних характеристик вимірювальних СД, а також розробленої авторами установки для дослідження і калібрування сучасних і перспективних СД на базі наявного та доступного в Україні метрологічного устаткування.

## **Радіометричні характеристики і параметри світлодіодів**

Радіометричні характеристики і параметри СД значно відрізняються від аналогічних характеристик інших джерел випромінювання (ДВ). Це вимагає принципово нового підходу як до їх вимірювання, так і до метрологічного забезпечення цих вимірювань. Розглянемо вказані особливості детальніше.

У порівнянні з тестовими ДВ, СД мають значно менші розміри і споживану потужність і потребують низьковольтне живлення постійним струмом з дотриманням полярності. Оптичний вихід СД значно залежить від величини струму, що протікає через *n-p* перехід і температури випромінюючого кристала, що, у свою чергу, утруднює створення еталонних ДВ і вимагає жорсткого дотримання умов експлуатації, особливо при вимірюванні та калібруванні. Пластмасові корпуси СД та особливості їх технології здебільшого утруднюють точне базування ДВ при вимірюваннях, що призводить до значних похибок, тим паче, що індикатриса випромінювання СД радше відрізняється від осесиметричної.

Відзначимо ще одну особливість СД – високу яскравість, що особливо характерна для потужних випромінювачів. Раніше яскравість СД не досягала шкідливих для зору значень і не нормувалася по критеріям безпеки. Сучасні СД мають граничні значення яскравості значно більші за безпечні, що також слід враховувати при вимірюванні їх параметрів і експлуатації [1].

Для покращення виходу випромінювання з кристала СД, їх корпус виготовляють з прозорої пластмаси (найчастіше епоксидної смоли) у вигляді лінзи і використовують його для формування необхідного просторового розподілу випромінювання від дуже вузького (з кутом поширення менш  $3^\circ$ ), до майже дифузного. По прийнятій класифікації [2], СД в першому випадку відносять до типу А, а в другому – до типу В.

З врахуванням розглянутих особливостей СД зазвичай вимірюються наступні характеристики і параметри [2,3]:

- індикатриса сили випромінювання (сили світла) у двох взаємно перпендикулярних площинах;
- сила випромінювання (сила світла) на певній відстані (залежно від типу СД) від випромінюючого майданчика (зазвичай у дальній зоні);
- енергетична яскравість (яскравість) у ближній зоні (найчастіше для світлодіодних матриць і потужних СД із значною зоною випромінювання);
- енергетичний потік (світловий потік) в у напівсферу.

### Методи і засоби вимірювання радіометричних характеристик і параметрів вимірювальних світлодіодів

Вимірювання індикатриса випромінювання СД зазвичай здійснюється на гоніофотометрах у відносних і абсолютних величинах [2,3,6]. Для одноманітності цих вимірювань МКО розробила і рекомендує наступні правила [2,4]:

- кругосиметричні корпуси СД при вимірюванні необхідно встановлювати так, щоб оптична вісь була направлена в центр вимірювального приймача випромінювання (ВПВ) перпендикулярно його поверхні (рис. 1);
- чутлива поверхня ВПВ має бути обмежена круглою апертурною діафрагмою  $D_a$  з площею  $100 \text{ мм}^2$ ;
- відстань від вершини корпусу СД до апертурної діафрагми ( $l_a$ ) повинна складати для СД з вузькою індикатрисою (тип А) – 316 мм, а для дифузних СД (тип В) – 100 мм;
- вимірювання повинно здійснюватись у двох взаємно перпендикулярних площинах  $xx'$  і  $yy'$ .

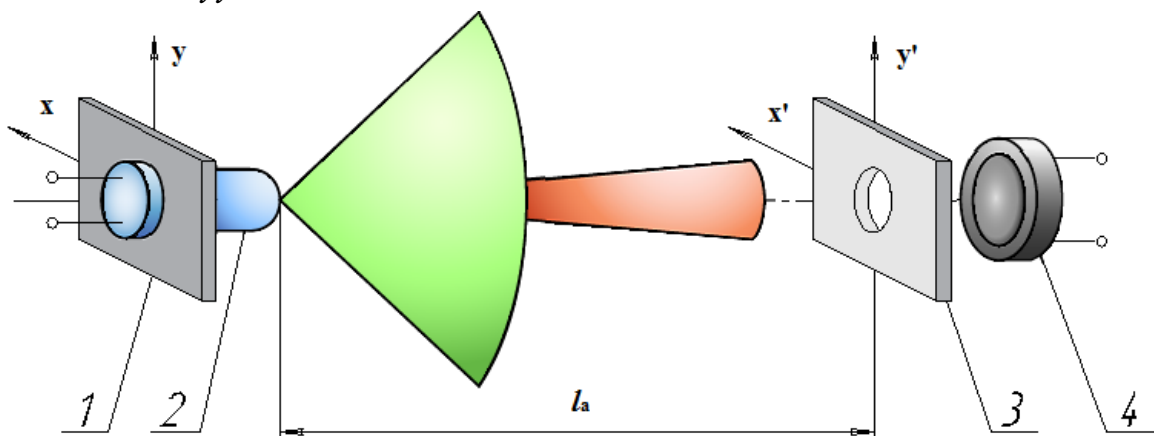


Рис. 1. Геометрія зміни параметрів світлодіодів, де: 1–площина базування; 2–СД; 3–апертурна діафрагма в площині вимірювання; 4–вимірювальне ДВ

Вимірювання світлового (енергетичного) потоку здійснюється за допомогою фотометричної кулі, розмір якої визначається розмірами СД [3], або розраховується інтегруванням просторового розподілу сили світла, виміряного на гоніофотометрі за описаною вище методикою в горизонтальній ( $xx'$ ) і вертикальній ( $yy'$ ) площинах.

льній ( $yy'$ ) площинах [2]. При поєднанні цих методик зменшується похибка вимірювань, проте слід пам'ятати, що при вимірюванні потоку за допомогою фотометричної кулі необхідно використовувати еталонні випромінювачі [4], а метод розрахунку по індикатрисі цього не потребує [3].

Визначення яскравості СД (світлодіодних матриць) здійснюється двома методами – розрахунком по вимірній освітленості в дальній зоні [3], або як частка від ділення сили світла, вимірної на гоніофотометрі на площу поверхні, що світиться [3, 6]. При дифузному характері випромінювання СД цей метод дає точніші результати. Для визначення величини випромінюючої ділянки СД можна використовувати скануючі мікрофотометри або звичайні вимірювальні мікроскопи. В останньому випадку необхідно знизити яскравість СД до безпечного рівня.

### **Основні розрахункові співвідношення**

Розглянемо співвідношення, які використовуються при розрахунку основних параметрів СД.

1. Визначення осьової сили світла СД по вимірній освітленості.

Осьова сила світла по вимірній освітленості розраховується як

$$I = E_1 \left( \frac{l_a (E_2 + \sqrt{E_1 + E_2})}{E_1 - E_2} \right)^2, \quad (1)$$

де  $E_1, E_2$  - освітленості на вимірюваній поверхні в двох положеннях відстань між якими  $l_a$ .

2. Визначення осьової сили світла методом порівняння.

Розрахунок осьової сили світла за цим методом здійснюється з наступної формули

$$I_{\text{д\`е}} = I_{\text{\`е}} \cdot \frac{l_1}{l_0}, \quad (2)$$

де  $I_{\text{д\`е}}$  - відоме значення сили світла еталонного джерела;  $l_0$  - відстань від еталонного джерела до світловимірної голівки;  $l_1$  - відстань від вимірюваного джерела до світловимірної голівки.

3. Визначення інтегрального потоку СД по вимірній індикатрисі в абсолютних величинах.

Якщо відомі значення сили світла у всіх напрямках випромінювання джерела світла, то повний потік розраховується як

$$\hat{O} = 2\pi \left( I_{\alpha_0} \frac{\cos \alpha_0 - \cos \alpha_1}{2} + I_{\alpha_p} \frac{\cos \alpha_{p-1} - \cos \alpha_p}{2} + \sum_{i=2}^{n-2} I_{\alpha_i} \frac{\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_{i+1}}{2} \right), \quad (3)$$

де  $I_{\alpha_i}$  – значення вимірної сили світла під кутом  $\alpha_i$ ;  $I_{\alpha_0}$  - значення вимірної сили світла по осі;  $p$  - значення останнього вимірювання;  $n$  – загальна кількість значень сили випромінювання.

Точність цього методу залежить від кількості вимірювань сили світла. Досить

точними можна вважати вимірювання з кроком  $5^\circ$ .

4. Визначення інтегрального потоку СД по відносній індикатрисі та осьовій силі світла.

Для знаходження інтегрального потоку за цим методом здебільшого користуються формулою

$$\hat{O} = I_0 \cdot \Omega = I_0 \cdot 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha \cdot \cos^m \alpha d\alpha, \quad (4)$$

де  $I_0$  - осьова сила світла;  $\Omega$  - тілесний кут, в якому випромінює СД;  $m$  - ступінь, значення якої визначає ширину направленості випромінювання СД і знаходиться у відповідності до форми відносної індикатрисі.

Цей метод має певні недоліки, оскільки не враховує відхилення від осесиметричності випромінювання СД.

5. Визначення інтегрального потоку на фотометричній кулі.

Простим є у використанні метод, основна похибка якого полягає у неможливості створення ідеального дифузного розсіювача з постійним коефіцієнтом відбиття по всій внутрішній поверхні сфери.

Вираз, яким користуються для розрахунку потоку на фотометричній кулі, отримують з міркувань енергетичного балансу

$$\hat{O} = E[(S - \sigma)(1 - \rho) + \sigma] = E \cdot S(1 - \rho)', \quad (5)$$

де  $E$  – освітленість, однакова у всіх точках кулі;  $S = 4\pi R^2$  - площа сфери;  $\sigma$  - загальна площа вирізаної отворами поверхні кулі;  $(1 - \rho)$  - коефіцієнт поглинання стінки;  $\rho'$  - середній коефіцієнт відбиття стінки кулі.

### **Експериментальна установка для вимірювання радіометричних характеристик світлодіодів**

З використанням розглянутих рекомендацій, авторами було розроблено експериментальну установку для вимірювання радіометричних характеристик СД малої і середньої потужності (рис. 2). Її основною перевагою є простота повторення у поєднанні з досить високою точністю.

Установка складається з гоніофотометра на базі поворотного столика оптичної лави ОСК-2 із закріпленим у центрі обертання вимірюваним СД, оригінального скануючого мікрофотометра з візуальним каналом [7] та зразкового люксметра – яскравоміра ТЕС 0693. Для юстування всіх елементів і прив'язки їх до оптичної осі установки використовується гелій-неоновий лазер ЛГ-56.

У мікрофотометрі встановлено вимірювальний фотодіод ФД-24К, величина зсуву столика з мікрофотометром вимірюється індикатором годинного типу з ціною поділки 2 мкм. Величина поля зору визначається набором змінних діафрагм, встановлених перед фотодіодом, і з врахуванням збільшення мікрооб'єктива складає 0,1 ÷ 0,5 мм. Межа лінійності фотодіода складає 20 мА при темновому струмі менше 1 мкА. Діапазон вимірювання освітленості люксметра-

яскравоміра ТЕС 0693 складає  $10^{-1} \div 10^5$  лк, а яскравості –  $10 \div 2 \cdot 10^5$  кд/м<sup>2</sup> в спектральному діапазоні  $0,38 \div 0,78$  мкм. По спеціальному замовленню в прилад може бути введена функція вимірювання енергетичної освітленості. Похибка вимірювання не перевищує  $\pm 5\%$ , а при індивідуальній атестації –  $\pm 3,6\%$  [14].

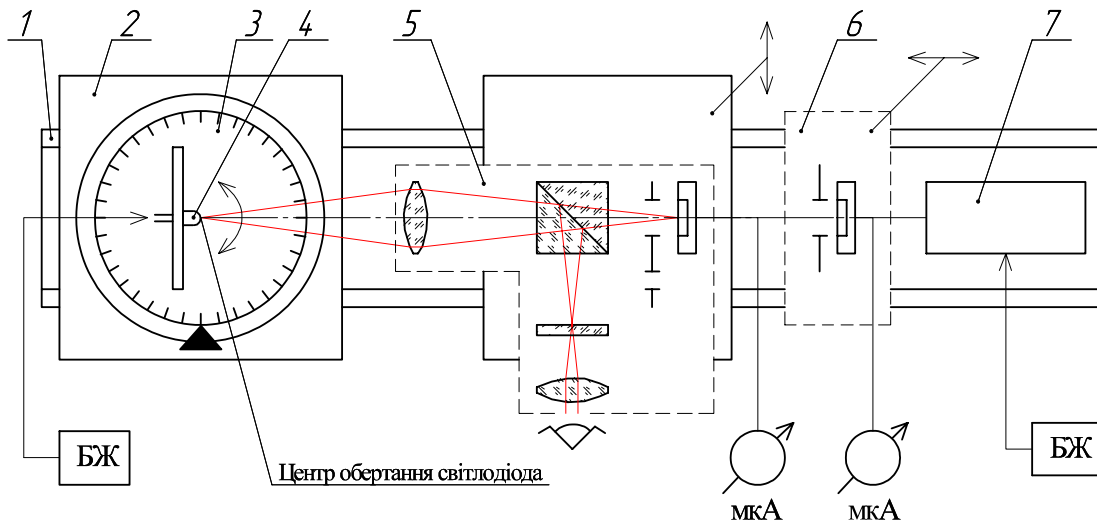


Рис. 2. Структурна схема вимірювальної установки, де: 1 – оптична лава; 2 – поворотний столик; 3 – лінб; 4 – вимірюваний СД; 5 – скануючий мікрофотометр; 6 – фотоелектрична головка люкметра; 7 – лазер

Для вимірювання інтегрального світлового потоку використовується фотометрична куля діаметром 0,26 м. Покриття внутрішньої поверхні виконане по рекомендації [15]. Вимір освітленості здійснюється фотодіодом ФД-24К з молочним склом МС-13. Порівняння вимірюваного потоку здійснюється з еталонним СД і відкаліброваною галогенною лампою фірми Philips, потужністю 20 Вт і напругою 12 В. При вимірюванні індикатриси випромінювання СД використовується фотоелектрична голівка зі встановленою перед нею круглою апертурною діафрагмою, площею 100 мм<sup>2</sup>. Відстань від СД до діафрагми залежно від типу СД може змінюватися від 100 до 360 мм.

Визначення середньої сили світла СД здійснюється по виміряній у дальній зоні освітленості. При цьому використовується люкметр-яскравомір ТЕС 0693, а відстань до СД складає не менше 300 мм. Визначення розмірів випромінюючого майданчика СД або світлодіодної матриці здійснюється скануючим мікрофотометром з використанням візуального і фотоелектричного каналів.

Вимірювання яскравості у ближній зоні здійснюється або з використанням ТЕС 0693 у режимі яскравоміра, або мікрофотометром (для дослідження тонкої структури випромінювання СД).

У табл. 1 показано метрологічні характеристики, отримані при калібруванні установки (рис. 3).

Таблиця 1. Метрологічні характеристики установки

Метрологічні характеристики	
Величина поля зору мікрофотометра, мм	1,25
Діапазон вимірювання потоку на мікрофотометрі, Вт	$10^{-8} \dots 10^3$
Діапазон вимірювання яскравості у ближній зоні абсолютним методом, кд/м <sup>2</sup>	$10 \dots 2 \cdot 10^5$
Діапазон вимірювання освітленості у дальній зоні абсолютним методом, лк	$10^{-1} \dots 10^5$
Діапазон вимірювань потоку на кульовому фотометрі, Вт	$5 \cdot 10^{-2} \dots 10^2$

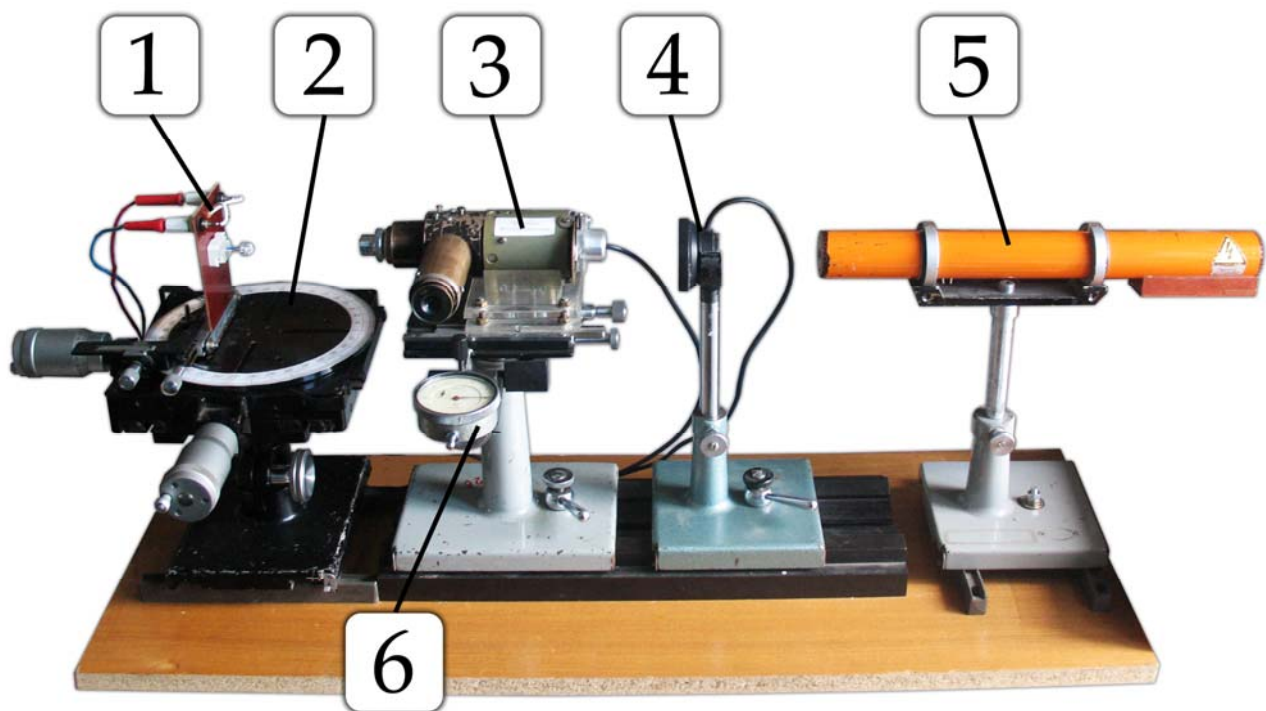


Рис. 3. Зовнішній вигляд експериментальної установки. 1 – дослідний СД; 2 – поворотний столик з лімбом; 3 – мікрофотометр; 4 – фоточутлива головка люкметра; 5 – лазер для юстування; 6 – індикатор переміщення

### **Метрологічне забезпечення вимірювання радіометричних характеристик СД**

Методи вимірювання радіометричних величин на розглянутій установці в цілому відповідають ГОСТ 17616-82 [14], але з врахуванням перерахованих вище особливостей СД. Калібрування всіх приймачів випромінювання проводиться по стабілізованому джерелу типу А з використанням у якості зразкового засобу вимірювання (вторинного еталону установки) люкметра-яскравоміра ТЕС 0693, який випускається з державною перевіркою, і є одним з найбільш точних приладів такого типу в СНД [14].

Похибка абсолютних вимірювань радіометричних характеристик СД складала при цьому 6...8%, що цілком достатньо для вирішення більшості практичних і наукових завдань. Подальше підвищення точності може бути отримане при ви-

користанні зразкових засобів вимірювання вищого рангу [16-19] або при індивідуальній атестації ТЕС 0693, проте це істотно підвищить вартість вимірювань.

Особливі труднощі викликає вимірювання інтегрального світлового потоку на кульовому фотометрі, у зв'язку з відсутністю вітчизняних еталонних СД. Тому на даній установці як еталонний випромінювач використовується галогенна лампа фірми Philips, потужністю 20 Вт і напругою 12В, відкалібрована по світловому потоку звичайним способом [15]. При цьому похибка вимірювань склала 10÷12%, що поступається методу визначення потоку за вимірюною індикатрисою СД.

### **Висновки**

Виконаний аналіз методів вимірювання радіометричних характеристик СД показав, що для виробничих та наукових цілей із задовільною точністю більшість характеристик і параметрів сучасних і перспективних СД може бути виміряне на існуючій в Україні елементній і метрологічній базі.

Розроблено зручну для повторення установку, що дозволяє виміряти більшість параметрів світлодіодів малої та середньої потужності з похибкою не більше 6÷8%. Як зразковий засіб вимірювання доцільно використовувати вітчизняний люксометр-яскравомір ТЕС 0693.

У майбутньому планується розробка методик вимірювання параметрів СД та створення установки для промислового використання. Результати роботи будуть корисні і фахівцям у галузі прецизійної радіометрії, і розробникам елементів оптико-електронних систем.

### **Література**

1. Бадгутинов М.Л. Мощные светодиоды белого свечения / М.Л. Бадгутинов, Н.А. Гальчина, Л.М. Коган и др. // Светотехника. – 2006. – № 6. – С. 36 – 40.
2. Заутер Г. Фотометрия светодиодов / Г. Заутер, М. Линдеман, А. Шперлинг и др. // Светотехника. – 2004. – № 3. – С. 5 – 11.
3. Миллер К. Измерение параметров светотехнических изделий со светодиодами / К. Миллер, Й. Оно // Светотехника. – 2007. – № 6. – С. 40 – 42.
4. Дежи Д. Эталонный излучатель НИСТ для фотометрии светодиодов / Д. Дежи, Ю Зонг, С.С. Миллер и др. // Светотехника. – 2004. – № 6. – С. 56 – 59.
5. Гомбош К. Освещение светодиодами как проблема фотометрии и колориметрии / К. Гомбош, Я. Шанда // Светотехника. – 2009. – № 2. – С. 11 – 19.
6. Дэй С.С. Исследование кривых силы света светодиодов для общего освещения / С.С. Дэй, Ц.М. Чань // Светотехника. – 2009. – № 3. – С. 30 – 36.
7. Міхеєнко Л.А. Фізико-математична модель випромінювача з розсіюючим елементом / Л.А. Міхеєнко, Л.В. Коваленко // Вісник НТУУ «КПІ» серія Приладобудування. – 2008. – №3. – С. 31–37.
8. Столяревская Р.И. Методы исследования метрологических характеристик. Приборы для измерения световых величин // Светотехника. – 1998. – № 3. – С. 16 – 17.

**Н. И. Дедух, Л. А. Михеенко, В. С. Свешников**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

**РАДИОМЕТРИЯ И МЕТРОЛОГИЯ СВЕТОДИОДОВ**



В работе представлен обзор и анализ методов измерения радиометрических характеристик светодиодов. Разработана удобная для повторения установка, что позволяет измерять основные параметры светодиодов на основе имеющегося и доступного в Украине метрологического оборудования и элементной базы. Проанализированы основные погрешности измерений радиометрических характеристик светодиодов, предоставлены рекомендации относительно их минимизации. Результаты работы будут полезны специалистам в области прецизионной радиометрии и разработчикам элементов оптико-электроники.

**Ключевые слова:** светодиоды, радиометрия, метрология

**N. I. Didukh, L.A. Mikheenko, V. S. Sveshnikov**

*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

**RADIOMETRY AND METROLOGY LEDS**

In this article presented an overview and analysis methods for measuring radiometric characteristics of the LEDs. Designed for easy installation of repetition, which allows you to measure the basic parameters of the LEDs based on best available and affordable in Ukraine metrology equipment and components. Analyzed the basic error of measurement of radiometric characteristics of the LEDs provided recommendations to minimize them. The results will be useful to specialists in the field of precision radiometry and developers elements opto-electronics.

**Keywords:** LED, radiometry, metrology.

*Надійшла до редакції  
2 червня 2010 року*

УДК 528.7, 629.78

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАБОРА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ**

*Коваль С.Т., Цушко П.Н., Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

*Предложен специализированный метод определения спектральных характеристик од-  
ноэлементных приемников излучения с использованием набора светоизлучающих диодов. Его  
преимущества и эффективность подтверждены приведенными экспериментальными ре-  
зультатами.*

**Ключевые слова:** параметры и характеристики приемников излучения, спектральная чувствительность, комплексность и автоматизация методов измерения, виртуальная лаборатория на базе ПК.

### **Введение**

Одной из главных характеристик приемника излучения (ПИ) является его чувствительность, определяемая отношением величины фотосигнала к энергии потока падающего оптического излучения. Если поток лежит в достаточно узком интервале спектра, то такое отношение определяет значение спектральной чувствительности ПИ на определенной длине волны.

Спектральная чувствительность играет важную роль при выборе фотоприемного устройства в процессе проектирования оптико-электронных приборов. Определение такого рода характеристик на этапах научно-исследовательской и