

УДК 528.7:629.78

Л.А. Міхеєнко, О.В. Калмикова

Національний технічний університет України “КПІ”, Київ, Україна

ДИФУЗНИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ ЗМІННОЇ ЯСКРАВОСТІ НА ОСНОВІ МАТРИЦІ СВІТЛОВИПРОМІНЮВАЛЬНИХ ДІОДІВ З РОЗСІЮВАЧЕМ

Background. Lately there has been a rapid development of digital optoelectronic systems with matrix photodetectors, but further improvement of these systems is largely constrained by insufficient methods and tools for measuring their energy characteristics.

Objective. The purpose of this article is to develop a new method of calculation and analysis of the radiator of variable brightness based on matrix of light-emitting diodes with the scatterer.

Methods. A system with the matrix light-emitting diodes and the scattering glass is used as a diagram of the radiator. The dependence of the brightness on the output aperture of the radiator on its design parameters is investigated. Its mathematical modeling and search for the most appropriate values of the individual parameters are carried out.

Results. A new method of calculation and analysis of the radiator with the scatterer based on the account of influence of the spatial structure of the matrix and the point spread function or function scattering line of the scattering element was worked out. The basic parameters of the radiator with the scatterer were given. There were the step of the matrix of light-emitting diodes and coefficient of the indicatrix providing the minimum heterogeneity of radiation and the maximum brightness of the output aperture.

Conclusions. The results have shown that the proposed scheme of the radiator is perspective for measuring the energy characteristics of the matrix photodetectors of the digital optoelectronic systems.

Keywords: metrology; radiometric measurements; digital optoelectronic systems; optical radiometry; matrix photodetectors.

Вступ

Останнім часом спостерігається швидкий розвиток цифрових оптико-електронних систем (ЦОЕС) з матричними приймачами випромінювання (МПВ) – цифрових фотоапаратів, цифрових відеокамер, веб-камер, спеціалізованих цифрових камер для оптичної мікроскопії, астрономії, автоматичних і напівавтоматичних систем спостереження та супроводу. Однак подальше вдосконалення таких систем значною мірою стримується недостатнім рівнем методів і засобів вимірювання їх енергетичних характеристик – насамперед функції передачі сигналу і нерівномірності оптичних та електричних характеристик фоточутливих елементів МПВ [1, 2].

Найважливішою особливістю вимірювання енергетичних характеристик ЦОЕС з МПВ є високі вимоги до випромінювача, який має відповідати таким технічним вимогам [3]:

- випромінювач повинен забезпечувати освітлення великої кількості фоточутливих елементів МПВ – більше 2048×2048 при площі МПВ більше 15×15 мм з нерівномірністю менше 1–3 %;

- випромінювач повинен мати широкий динамічний діапазон зміни яскравості – не менше 10^4 – без зміни спектрального складу і ступеня поляризації оптичного випромінювання;

- випромінювач повинен мати лінійну вихідну характеристику з відхиленням менше 1–3 %;

- випромінювач повинен забезпечувати високе значення максимальної освітленості вхідного значка ЦОЕС або фоточутливої площадки МПВ – більше 5 Вт/мІ, що відповідає яскравості випромінювача не менше 10^3 Вт/(ср·мІ);

- випромінювач повинен гарантувати високу повторюваність результату вимірювань із середньоквадратичним відхиленням менше 0,05, а в окремих випадках і можливість калібрування МПВ у абсолютних одиницях по еталонному випромінювачу.

Як показав критичний аналіз, створення випромінювачів, які повною мірою задовольняють перераховані вище вимоги, є складним технічним завданням. Зокрема, використання ламп розжарювання та галогенних ламп дає змогу отримати високі яскравості, але не забезпечує виконання вимог до однорідності, лінійності й повторюваності, зважаючи на їх малий строк служби і поступове вигорання нитки розжарювання [4]. Застосування світловипромінювальних діодів (СВД) забезпечує простоту конструкції та прийнятні фотометричні характеристики, але не дає змоги отримати достатньо однорідне поле яскравості в межах необхідної апертури. Хоча використання інтегруючої сфери і дає можливість досягти високої однорідності в межах вихід-

ної апертури, лінійності вихідної характеристики і повторюваності, але забезпечення великої яскравості і великого динамічного діапазону пов'язане з істотними технічними труднощами [3]. Таким чином, незважаючи на велику кількість відомих схем випромінювачів, на сьогодні відсутня система, яка повною мірою відповідає переліченим вище технічним вимогам. Така ситуація стримує розвиток як методів, так і засобів вимірювання енергетичних характеристик сучасних ЦОЕС з МПВ.

Постановка задачі

Однією з найбільш перспективних схем побудови дифузного випромінювача є схема з використанням матриці потужних СВД і вторинного випромінювача у вигляді дифузного розсіювача [3]. Ця схема дає змогу отримати велику яскравість вихідної апертури в поєднанні з високою однорідністю її розподілу. Важливою перевагою такої схеми є можливість зміни яскравості в широких межах за рахунок зміни струму живлення СВД [5]. При цьому вихідна характеристика випромінювача буде прямо пропорційна величині струму живлення джерела випромінювання. Однак існуючі методи розрахунку таких систем є недостатньо точними і ефективними для прецизійної фотометрії, зокрема – при створенні установок для вимірювання енергетичних характеристик ЦОЕС з МПВ. У зв'язку з цим метою роботи є розробка нового методу розрахунку й аналізу випромінювача змінної яскравості на базі матриці СВД з розсіювачем, заснованого на врахуванні впливу просторової структури матриці і функції розсіювання точки (ФРТ) або функції розсіювання лінії (ФРЛ) розсіювального елемента, аналіз фотометричних характеристик такої системи та проведення оптимізації конструктивних параметрів такого випромінювача.

Формування поля яскравості розсіювальним елементом

При роботі матриці СВД спільно з розсіювачем, наприклад з молочного або матових стекл, первинним випромінювачем є поверхня, яка прилягає до площадок СВД, а вторинним – зовнішня поверхня розсіювача.

Розглянемо математичну модель такого випромінювача. Поле яскравості первинного випромінювача – матрицю СВД – можна описати як сукупність випромінюючих

площадок з відомими розмірами і періодами. Найважливішими фотометричними характеристиками розсіювача є інтегральний коефіцієнт пропускання τ_p , спектральна характеристикам $\tau(\lambda)$, функція розсіювання точки чи функція розсіювання лінії.

Яскравість дифузного розсіювача як вторинного випромінювача можна визначити так.

1. Розподіл яскравості на випромінюючій поверхні матриці в системі координат X, Y, Z описується функцією (рис. 1)

$$L_1(x, y) = L_m f_m(x, y, V, W, p, s), \quad (1)$$

де $L_1(x, y)$ – розподіл яскравості по поверхні матриці СВД як функція від координат точки (x, y) ; V, W – розміри випромінюючої поверхні матриці по осях OX та OY відповідно; p, s – просторові періоди випромінюючих площадок СВД по осях OX та OY відповідно; L_m – максимальна величина яскравості матриці; $f_m(x, y, V, W, p, s)$ – нормована функція, яка описує розподіл яскравості по поверхні матриці.

2. Розподіл освітленості на внутрішній (оберненій до матриці, тобто в системі координат X', Y', Z) поверхні розсіювача визначається як функція від розподілу яскравості по поверхні матриці фотометричними тілами окремих СВД ($I(\alpha)$, відстані між матрицею і розсіювачем l , коефіцієнта пропускання середовища між матрицею і розсіювачем τ_{cp}) (див. рис. 1):

$$E_2(x', y') = E_2(x', y', L_1(x, y), l, \tau_{cp}, I(\alpha)), \quad (2)$$

де $E_2(x', y')$ – розподіл освітленості по поверхні розсіювача як функція від координат точки (x', y') на внутрішній поверхні розсіювача.

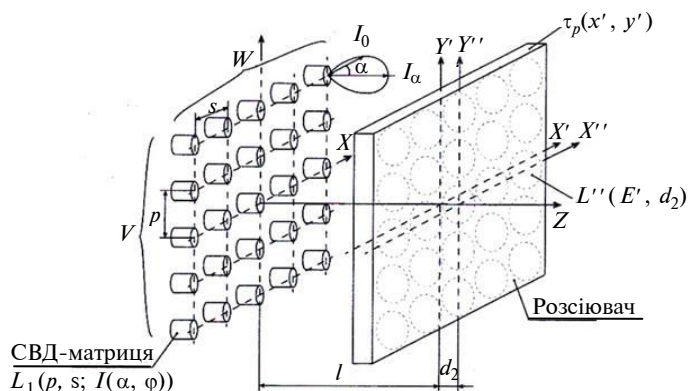


Рис. 1. Схема системи матриця СВД-розсіювач

3. Оптичні передавальні властивості розсіювача визначаються його ФРТ і коефіцієнтом пропускання τ_p . Тоді, вважаючи розсіювач вторинним ламбертівським випромінювачем, розподіл яскравості на його зовнішній поверхні в системі координат X'', Y'', Z можна описати таким виразом [6] (див. рис. 1):

$$L_2(x'', y'') = L_2(E_2(x', y'), h(x'', y''), \tau_p), \quad (3)$$

де $L_2(x'', y'')$ – розподіл яскравості на поверхні розсіювача як функції від координат на поверхні розсіювача; $h(x'', y'')$ – ФРТ розсіювача.

При далеких відстанях l щодо розмірів випромінюючої поверхні матриці V, W ($z \geq 5V, z \geq 5W$) нерівномірністю розподілу яскравості на поверхні матриці можна знехтувати, покладаючи функцію $L_1(x, y) = L_m = \text{const}$. Це дає змогу користуватися традиційними методами для розрахунку освітленості розсіювача [7].

При роботі в ближній зоні, коли не виконується умова $z \geq 5V, z \geq 5W$, необхідно враховувати дискретну структуру матриці СВД і характеристику розсіювача. В інженерній практиці можна обмежитися одновимірним випадком – згортка розподілу освітленості на поверхні розсіювача і ФРЛ. Тоді формула (3) набуває такого вигляду:

$$L_2(x'', y'') = L_2(y'') = \frac{\tau_p}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_2(y') h_L(y'' - y') dy', \quad (4)$$

де $h_L(y'')$ – ФРЛ розсіювача.

Розрахунок освітленості на поверхні розсіювача

Розглянемо спочатку формування зони освітленості на поверхні розсіювача одним СВД (рис. 2). Розподіл сили світла, яку випромінює СВД, можна описати осесиметричною функцією $I(\alpha) = I_0 \cos^m \alpha$, де I_0 – осьова сила світла, а $m \geq 1$ – коефіцієнт, який враховує ширину індикатриси. При $m = 1$ СВД є ламбертівським випромінювачем.

Елементарний потік $d^2\Phi$, що випромінюється СВД, і падає на поверхню dP (див. рис. 2) в елементарному тілесному куті $d\Omega$ описується виразом

$$d^2\Phi = L_{uu} dA_{uu} d\Omega \cos \alpha, \quad (5)$$

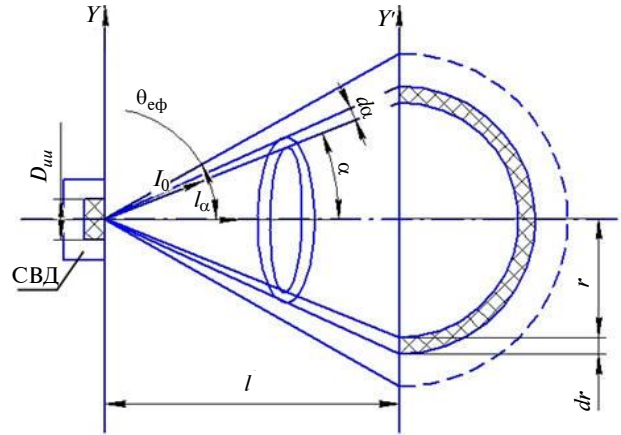


Рис. 2. Виведення формули освітленості поверхні розсіювача

де L_{uu} – яскравість одного СВД в осьовому напрямку, dA_{uu} – площа випромінюючої поверхні СВД. При цьому ми вважаємо, що випромінююча площадка СВД набагато менша за відстань до розсіювача, а сила світла I_0 в осьовому напрямку дорівнює $I_0 = L_{uu} dA_{uu}$. Елементарний тілесний кут $d\Omega$ знаходиться з таких співвідношень:

$$\begin{aligned} d\Omega &= \frac{dP}{l_\alpha^2} \cos \alpha, l_\alpha = \frac{l}{\cos \alpha}, P = \pi r^2, \\ dP &= 2\pi r dr, r = l \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, dr = l \frac{1}{(\cos \alpha)^2} d\alpha, \\ d\Omega &= 2\pi \frac{l^2 \sin \alpha (\cos \alpha)^2}{(\cos \alpha)^3 l^2} \cos \alpha d\alpha, \\ d\Omega &= 2\pi \sin \alpha d\alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

Потік, що надходить на розсіювач в тілесному куті $d\Omega$, визначається виразом

$$d\Phi = I(\alpha) d\Omega = 2\pi I_0 \cos^m \alpha \sin \alpha d\alpha. \quad (7)$$

Потік у межах ефективного кута $\theta_{\text{еф}}$ дорівнює

$$\begin{aligned} \Phi(\theta_{\text{еф}}) &= 2\pi I_0 \int_0^{\theta_{\text{еф}}} \cos^m \alpha \sin \alpha d\alpha = \\ &= \frac{2\pi I_0}{m+1} (1 - \cos^{m+1} \theta_{\text{еф}}). \end{aligned} \quad (8)$$

Освітленість зони розсіювача dP визначається виразом

$$E(\alpha) = \frac{d\Phi}{dP} = \frac{I(\alpha) d\Omega}{dP} = \frac{2\pi I_0 \cos^m \alpha \sin \alpha d\alpha}{2\pi \frac{l^2 \sin \alpha}{(\cos \alpha)^3} d\alpha} =$$

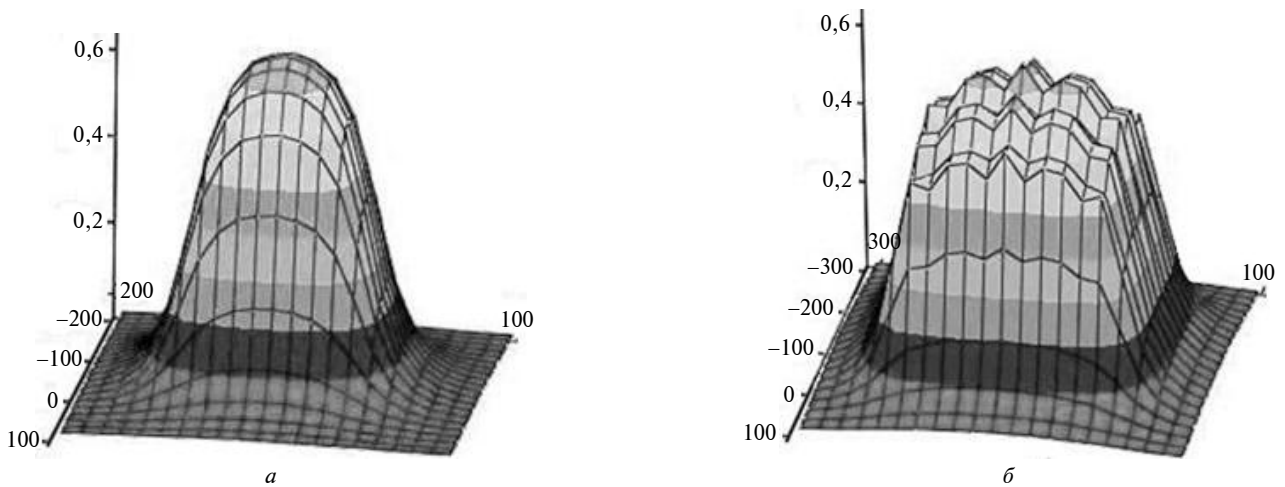


Рис. 3. Розподіл освітленості на поверхні розсіювача від матриці 5×5 СВД при малій (а) та великій (б) відстанях між СВД

Таблиця. Характеристики стрічкових СВД великої потужності

Модель СВД	Електричні параметри			Оптичні параметри		Косинусність <i>m</i>	Кут випромінювання, град.	Габарити, мм
	Струм <i>I</i> , mA	Напруга <i>U</i> , В	Потужність <i>P</i> , Вт	Кольорова температура, К	Потік, Φ, Лм			
EWJ	1200	4	5	6000	350	1	140	12
LZ4	1000	14	10	5500	700	1	105	10
PWD	1400	15	20	6000	780	1	1140	6
CLA	800	8	5	5500	687	3	120	8
CXA	700	7	5	5500	1040	1	115	22
XML	700	7	5	5300	340	1	125	5

$$= \frac{I_0 \cos^m \alpha}{l^2} \tag{9}$$

При переходжені від кутової залежності освітленості розсіювача до лінійної (по осі *Y'*) отримуємо

$$\cos \alpha = \frac{l}{l_\alpha} = \frac{l}{\sqrt{(l^2 + y'^2)}},$$

$$E_2(y') = \frac{I_0 \left(\frac{l}{\sqrt{(l^2 + y'^2)}} \right)^m}{l^2} = \frac{I_0 l^{m+1}}{\left[\sqrt{(l^2 + y'^2)} \right]^{m+3}} \tag{10}$$

Для матриці СВД з відстані між окремими джерелами випромінювання *p* і *s* по вертикалі та горизонталі відповідно освітленість розсіювача $E_2(x', y')$ становить

$$E_2(x', y') = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{I_0 l^{m+1}}{\left[\sqrt{(l^2 + [x' + (m-1)s]^2 + [y' + (n-1)p]^2)} \right]^{m+3}} \tag{11}$$

де *M, N* – кількість джерел випромінювання в матриці по вертикалі та горизонталі відповідно; *n, m* – порядковий номер СВД по вертикалі та горизонталі відповідно.

Розподіл освітленості від квадратної матриці 5×5 СВД показано на рис. 3.

Як джерела випромінювання можна використовувати набір окремих СВД, але кращі результати забезпечують стрічкові конструкції, характеристики яких наведені в таблиці [8].

Розсіювальний елемент

Як розсіювач дифузного випромінювача можуть використовуватися молочні стекла марок МС-12, МС-13, МС-19. Найкращі метрологічні характеристики має скло МС-23. При товщині розсіювача 1–8 мм коефіцієнт пропускання скла марки МС-23 змінюється в межах 0,68–0,46 [9].

З урахуванням анізотропності більшості оптичних матеріалів, зокрема молочних і матових стекел, функції розсіювання лінії молочних стекел у довідниках не наводяться і були визначені в [10] експериментально. Для інженерних розрахунків цілком прийнятною є апрок-

симація функцією Гаусса з нульовим середнім значенням [7]:

$$h_L(y'') = \sqrt{\frac{-\ln h_t}{\pi}} \frac{\exp\left(\ln(h_t) \left(\frac{y''}{t_p}\right)^2\right)}{t_p} = \sqrt{\frac{-\ln h_t}{\pi}} \frac{h_t \left(\frac{y''}{t_p}\right)^2}{t_p}, \quad (12)$$

де t_p – півширина лінії розсіювання на рівні h_t , який становить половину максимального значення ФРЛ.

Параметр t_p був виміряний експериментально і становить 0,25 мм для молочного скла МС-23 і 1,9 мм для матового скла.

Збільшення товщини скла збільшує розсіювання, але знижує яскравість, тому на практиці слід вибирати компромісне значення t_p .

У загальному випадку коефіцієнт пропускання розсіювача також залежить від координат точки (x'', y'') , однак, як показали експериментальні дослідження [9], для більшості сучасних молочних стекел цією нерівномірністю можна знехтувати і вважати коефіцієнт пропускання τ_p сталою величиною, тобто $\tau_p(x'', y'') = \tau_p = \text{const}$.

З виразів (4), (11) і (12) розподіл яскравості на поверхні розсіювача дорівнює

$$L_2(x'', y'') = \frac{\tau_p}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N \frac{I_0 l^2}{\left[\sqrt{l^2 + [y' + (n-1)p]^2}\right]^{m+3}} \times \sqrt{\frac{-\ln h_t}{\pi}} \frac{h_t \left(\frac{y''-y'}{t_p}\right)^2}{t_p} dy'. \quad (13)$$

Математичне моделювання дифузного випромінювача та оптимізація параметрів

Числовий аналіз отриманих виразів був проведений для матриці 5×5 СВД СЛА зі світловим потоком 680 лм і косинусною індикатрисою з $m=3$ (див. таблицю) у комбінації з молочним склом марки МС-23 товщиною 3 мм, розміщеним на відстані 10–100 мм від випромінюючих площадок матриці. Основні результати математичного моделювання, отримані за допомогою математичного пакета

MathCAD за формулами (1)–(13), показані на рис. 4 і дають змогу зробити такі висновки:

- наближення індикатрисы СВД до ламбертівського вигляду істотно покращує однорідність поля яскравості, що формується матрицею навіть при мінімальній відстані до матриці, локальна неоднорідність не перевищує 1 %;
- збільшення періоду матриці розширює апертуру випромінювача, але призводить до зростання неоднорідності поля яскравості;
- збільшення відстані між матрицею і розсіювачем зменшує локальну неоднорідність, але одночасно зменшує величину яскравості випромінювача (за законом оберених квадратів).

Оптимізація параметрів випромінювача проводилася для кроку матриці p , s у межах 30–60 мм та коефіцієнта m у межах 1–9. Розглядалися значення відносної величини неоднорідності $\frac{\Delta L}{L}$ (де ΔL – величина неоднорідності, L – максимальна величина яскравості), нормованої величини максимальної яскравості апертури $\overset{o}{L}$ та величини ефективної апертури $D_{\text{еф}}$ (довжина випромінюючої частини на розсіювачі при яскравості, рівній 0,9 від максимального значення яскравості) від вказаних параметрів (рис. 5, 6).

Дослідження показали, що при збільшенні кроку матриці та коефіцієнта косинусності величина максимальної яскравості на поверхні розсіювача зменшується, а величина ефективної апертури збільшується, також збільшується відносна величина неоднорідностей. Із графіків отриманих залежностей можна знайти доцільні зони значень величин p , s та m :

- найбільш доцільна зона значень кроку матриці $p, s = 42\text{--}60$ мм при $m = 1$ та $p, s = 46\text{--}60$ мм при $m = 6$;
- найбільш доцільна зона значень коефіцієнта $m = 3\text{--}9$ при $l = 40$ мм та $m = 2\text{--}3$ при $l = 100$ мм.

Макетування випромінювача показало збіг теоретичних і експериментальних результатів (похибка менше 6 %), що є підставою рекомендувати запропоновану методику для інженерних розрахунків прецизійних протяжних дифузних випромінювачів з різними СВД і розсіювачами.

Дослідний зразок випромінювача на базі розглянутих матриць СВД і розсіювача з молочного скла МС-23 показав, що він забезпечує

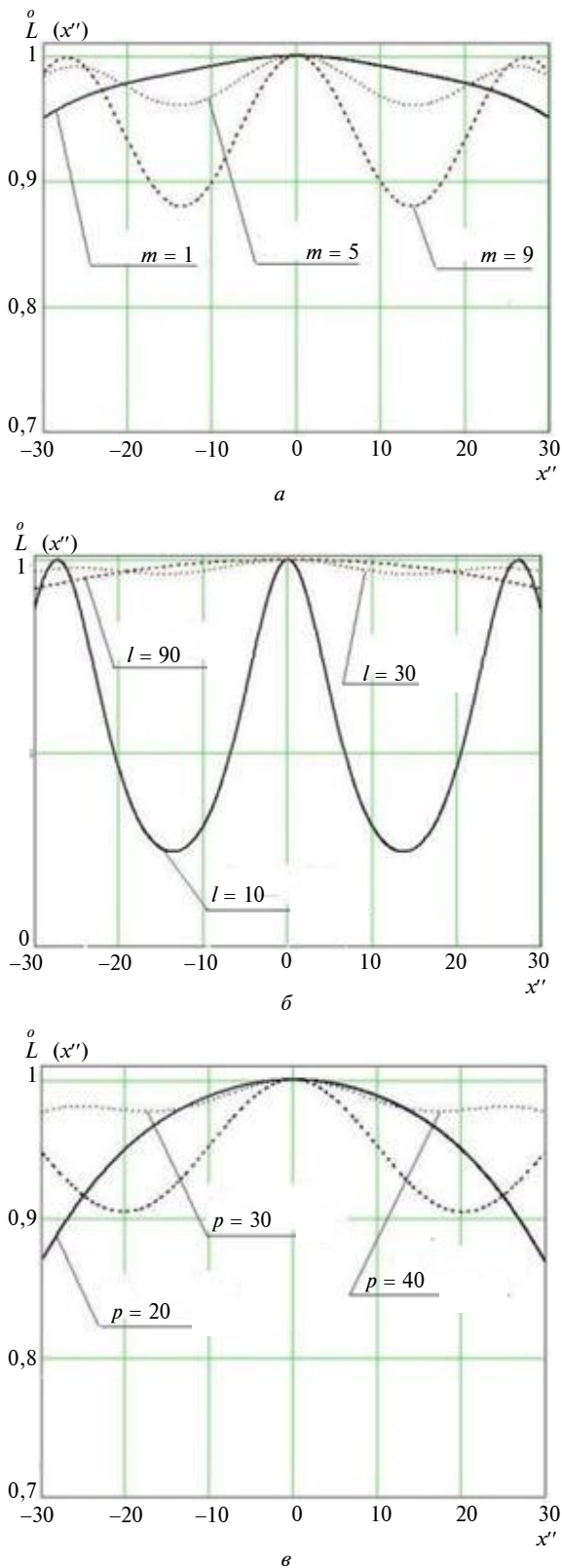


Рис. 4. Розподіл яскравості на поверхні розсіювача залежно від параметра m (а), відстані l (б) та кроку матриці p, s (в). Функція $L_2(x'', y'')$ пронормована за максимальним значенням

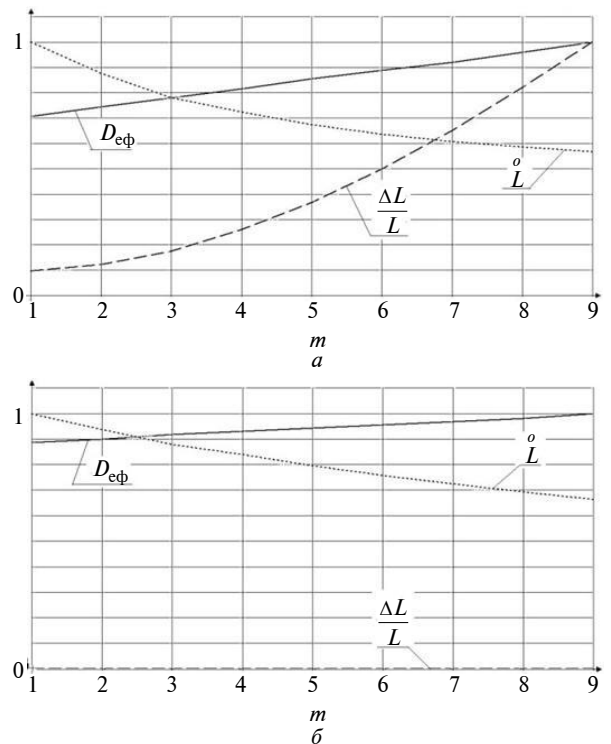


Рис. 5. Графік залежності яскравості дифузного випромінювача, його неоднорідностей поля яскравості і величини ефективною апертури від коефіцієнта m і відстані між матрицею та розсіювачем l : а – $l = 40$ мм, б – $l = 100$ мм

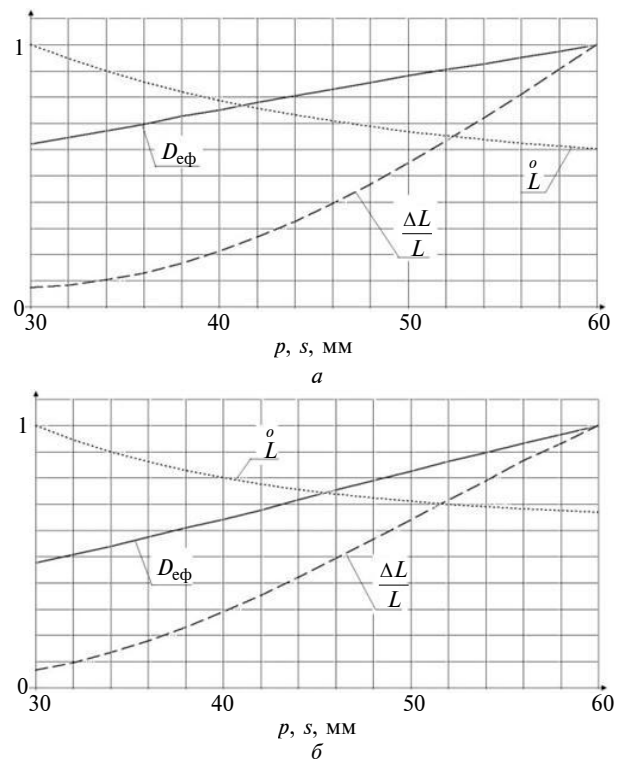


Рис. 6. Графік залежності яскравості дифузного випромінювача, його неоднорідностей поля яскравості та величини ефективною апертури від кроку матриці p, s та коефіцієнта m : а – $m = 1$, б – $m = 6$

яскравість не менше $5 \cdot 10^2$ Вт/ср·м² у межах апертури 20×20 мм з нерівномірністю яскравості менше 1 %. Динамічний діапазон зміни яскравості становить більше $8 \cdot 10^2$. Вимірювання проводилися яскравоміром-люксометром ТЕС 0643 з похибкою 5 %.

Висновки

Розроблено новий метод розрахунку й аналізу випромінювача змінної яскравості на основі впливу просторової структури матриці і функції розсіювання точки та функції розсіювання лінії розсіювального елемента.

Наведені конкретні параметри розсіювачів (молочних стекл) та виконано їх відбір. Також

наведені результати математичного моделювання дифузного випромінювача, зокрема показана доцільність і можливість використання для апроксимації молочного скла виразу (12).

Проведено аналіз найбільш доцільних параметрів випромінювача. Показано, що мінімальна неоднорідність і максимальна яскравість забезпечуються при кроку матриці p, s у межах 42–60 мм при $m=1$ і 46–60 мм при $m=6$ та коефіцієнті косинусності m у межах 3–9 при $l=40$ мм і 2–3 при $l=100$ мм.

Подальші дослідження будуть спрямовані на метрологічний аналіз ДВ.

Список літератури

1. Стендова апаратура для вимірювання енергетичних характеристик оптико-електронних пристроїв космічного базування / В.Г. Колобродов, В.І. Микитенко, Л.А. Міхеєнко // Наукові Вісті НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 3. – С. 98–104.
2. Боровицкий В.Н. Выбор цифровой камеры для оптического микроскопа // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 1. – С. 21–26.
3. Микитенко В.І., Міхеєнко Л.А., Петрущенко Л.А. Дослідження та вибір схеми калібровочного випромінювача зі змінною яскравістю для прецизійної фотометрії // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування. – 2006. – Вип. 31. – С. 153–163.
4. Міхеєнко Л.А., Боровицкий В.Н. Вторичный эталон яркости на базе галогенной лампы с рассеивателем // Метрология. Стандартизация. – 2008. – № 2. – С. 61–64.
5. Мощные белые светодиоды и модули на их основе для целей освещения./ Н.А. Гальчина, Л.М. Кочан, И.Г. Рассохин и др. // Светотехника. – 2007. – № 2. – С. 26–28.
6. Иванов А.П. Оптика рассеивающих сред. – Минск: Наука и техника, 1969. – 582 с.
7. Мешков В.В. Осветительные установки. – М.: Энергия, 1972. – 362 с.
8. Мощные светодиоды белого свечения / М.Л. Бадгутинов, Н.А. Гальчина, Л.М. Коган и др. // Светотехника. – 2006. – № 6. – С.18–19.
9. Спектральные коэффициенты яркости молочных стекл / Б.В. Урысон, О.А. Черинов, Л.П. Шульженко и др. // Светотехника. – 1988. – № 3. – С. 4–6.
10. Міхеєнко Л.А., Коваленко А.В. Дослідження характеристик розсіювання молочного і матового скла // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування. – 2007. – Вип. 33. – С. 36–41.

References

1. V.G. Kolobrodov *et al.*, “Poster apparatus for measuring the energy characteristics of space-based optoelectronic devices”, *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 3, pp. 98–104, 2003 (in Ukrainian).
2. V.N. Borovickij, “Selection of the digital camera for an optical microscope”, *Tehnologija i Konstruirovanie v Jelektronnoj Apparature*, no. 1, pp. 21–26, 2004(in Russian).
3. V.I. Mykytenko *et al.*, “Research and choice of gauge emitter scheme with variable brightness for precision photometry”, *Visnyk NTUU KPI. Ser. Pryladobuduvannya*, no. 31, pp. 153–163, 2006 (in Ukrainian).
4. L.A. Mikheenko *et al.*, “Secondary standard brightness on the basis of a halogen lamp with diffuser”, *Metrologija. Standartizacija*, no. 2, pp. 61–64, 2008(in Russian).
5. N.A. Gal’china *et al.*, “Powerful white LED and their modules for lighting purposes”, *Svetotekhnika*, no. 2, pp. 26–28, 2007(in Russian).
6. A.P. Ivanov, *Optics of Scattering Medium*. Minsk, Republic of Belarus: Nauka i tehnika, 1969, 582 p. (in Russian).
7. V.V. Meshkov, *Lighting Systems*. Moscow, Russia: Jenergija, 1972, 362 p. (in Russian).
8. M.L. Badgutinov *et al.*, “High-power LED of white light”, *Svetotekhnika*, no. 6, pp. 18–19, 2006(in Russian).

9. B.V. Uryson *et al.*, "Spectral brightness coefficients of milk glass", *Svetotekhnika*, no. 3, pp. 4–6, 1988 (in Russian).
10. L.A. Mikheenko *et al.*, "Investigation of the characteristics of scattering of milk and frosted glass", *Visnyk NTUU KPI. Ser. Pryladobuduvannya*, no. 33, pp. 36–41, 2007 (in Ukrainian).

Л.А. Міхеєнко, О.В. Калмикова

ДИФУЗНИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ ЗМІННОЇ ЯСКРАВОСТІ НА ОСНОВІ МАТРИЦІ СВІТЛОВИПРОМІНЮВАЛЬНИХ ДІОДІВ З РОЗСІЮВАЧЕМ

Проблематика. Останнім часом спостерігається швидкий розвиток цифрових оптико-електронних систем з матричними приймачами випромінювання, однак подальше вдосконалення таких систем значною мірою стримується недостатнім рівнем методів і засобів вимірювання їх енергетичних характеристик.

Мета дослідження. Метою роботи є розроблення нового методу розрахунку й аналізу випромінювача змінної яскравості на базі матриці світлодіодів з розсіювачем.

Методика реалізації. Як схему побудови випромінювача використано систему з матрицею світлодіодів та розсіюючого скла. В роботі досліджується залежність яскравості на вихідній апертурі такого випромінювача від його конструктивних параметрів. Проводиться його математичне моделювання та пошук найдоцільніших значень окремих параметрів.

Результати дослідження. Розроблено метод розрахунку випромінювача з розсіювачем і аналізу з урахуванням впливу просторової структури матриці та функції розсіювання точки чи функції розсіювання лінії розсіювального елемента. Наведено основні параметри випромінювача з розсіювачем. Визначено, при якому кроку матриці світлодіодів та коефіцієнті індикатриси досягаються мінімальна неоднорідність випромінювання та максимальна яскравість вихідної апертури.

Висновки. Отримані результати показали, що запропонована схема випромінювача є перспективною для вимірювання енергетичних характеристик матричних приймачів випромінювання цифрових оптико-електронних приладів.

Ключові слова: метрологія; радіометричні вимірювання; цифрові оптико-електронні системи; оптична радіометрія; матричні приймачі випромінювання.

Л.А. Михеенко, Е.В. Калмыкова

ДИФУЗНИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА БАЗЕ МАТРИЦЫ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ С РАССЕИВАТЕЛЕМ

Проблематика. В последнее время наблюдается быстрое развитие цифровых оптико-электронных систем с матричными приемниками излучения, однако дальнейшее совершенствование таких систем в значительной степени сдерживается недостаточным уровнем методов и средств измерения их энергетических характеристик.

Цель исследования. Целью работы является разработка нового метода расчета и анализа излучателя переменной яркости на базе матрицы светодиодов с рассеивателем.

Методика реализации. В качестве схемы построения излучателя использована система с матрицей светодиодов и рассеивающего стекла. В работе исследуется зависимость яркости на выходной апертуре такого излучателя от его конструктивных параметров. Проводится его математическое моделирование и поиск наиболее целесообразных значений отдельных параметров.

Результаты исследования. Разработан метод расчета излучателя с рассеивателем и анализа с учетом влияния пространственной структуры матрицы и функции рассеяния точки или функции рассеивания линии рассеивающего элемента. Приведены основные параметры излучателя с рассеивателем. Определено, при каком шаге матрицы светодиодов и коэффициенте индикатриси достигаются минимальная неоднородность излучения и максимальная яркость выходной апертуры.

Выводы. Полученные результаты показали, что предложенная схема излучателя является перспективной для измерения энергетических характеристик матричных приемников излучения цифровых оптико-электронных приборов.

Ключевые слова: метрология; радиометрические измерения; цифровые оптико-электронные системы; оптическая радиометрия; матричные приемники излучения.

Рекомендована Радою
приладобудівного факультету
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
30 грудня 2014 року