

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 528.7, 629.78

Л.А. Міхеєнко, Ю.О. Гордієнко

МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ДИФУЗНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА ЗМІННОЇ ЯСКРАВОСТІ НА ОСНОВІ СПРЯЖЕНИХ ІНТЕГРУЮЧИХ СФЕР

Вступ

Дифузні випромінювачі змінної яскравості (ДВЗЯ) на основі спряжених інтегруючих сфер [1] призначені для формування у вихідній апертурі однорідного поля яскравості значної інтенсивності і регулювання його величини з високою точністю без зміни спектральної характеристики. З урахуванням високих метрологічних характеристик ДВЗЯ широко застосовуються у вимірювальній фотометрії, наукових дослідженнях, установках для калібрування прецизійних цифрових відеосистем [2–4]. Останнім часом інтерес до приладів такого типу значно зріс у зв'язку з перспективою їх використання для вимірювання енергетичних характеристик і атестації перед запуском оптико-електронних систем дистанційного зондування Землі з космосу [5]. Тому підвищення точності і покращення метрологічних характеристик є важливою актуальною, але до кінця не вирішеною в наш час проблемою. Відомі публікації в галузі кульових фотометрів і дифузних випромінювачів [4, 6, 7] мають у даному випадку обмежене використання, що пояснюється істотною різницею в роботі пристроїв цього типу і традиційних випромінювачів. Зокрема, використання спряжених інтегруючих сфер, симетрична конструкція пасивного випромінювача і винесення з нього джерел випромінювання забезпечує значно кращі умови для формування однорідного поля яскравості на виході, що, в свою чергу, зменшує вплив систематичних похибок на фотометричні характеристики ДВЗЯ. Основну роль при цьому починають відігравати випадкові фактори: нестабільність джерел випромінювання, зміна характеристик внутрішнього покриття інтегруючих сфер, флуктуація геометричних і фізичних параметрів конструктивних елементів, технологічні похибки та ін. У зв'язку з цим виникла необхідність дослідження впливу перелічених факторів на метрологічні характеристики ДВЗЯ.

Постановка задачі

Метою даної статті є аналіз і отримання аналітичних залежностей між первинними похибками основних параметрів випромінювача і полем яскравості, розрахунок і оцінка цих похибок, а також розробка рекомендацій з їх мінімізації при конструюванні ДВЗЯ із заданими метрологічними і фотометричними характеристиками.

Первинні похибки формування поля яскравості ДВЗЯ

Функціональну схему ДВЗЯ показано на рис. 1. ДВЗЯ складається з кількох (3–7) первинних інтегруючих сфер малого діаметра із встановленими в них джерелами випромінювання і оптично з'єднаних з однією вторинною інтегруючою сферою більшого діаметра, у вихідній апертурі якої безпосередньо формується калібрувальне поле яскравості. У місці з'єднання первинної і вторинної інтегруючих сфер встановлюються калібрувальні діафрагми змінного діаметра, які дають можливість регулювати величину потоку випромінювання, що надходить із первинних сфер до вторинної, і змінювати тим самим яскравість вихідної апертури. За рахунок багатократних відбиттів і розсіювання на внутрішніх поверхнях сфер відбувається інтегрування потоку випромінювачів достатньо однорідного поля яскравості з регульованою інтенсивністю.

Повна теорія дифузних випромінювачів на основі інтегруючих сфер наводиться в [1]. У першому наближенні яскравість вихідної апертури ДВЗЯ описується виразом

$$L = \frac{N_1 N_S \rho_1 \rho_2 A_{12} \Phi_S}{\pi A_1 A_2 \left[1 - \rho_1 \frac{A_1 - A_{12}}{A_1} \right] \times \left[1 - \rho_2 \frac{A_2 - N_1 A_{12} - A_D}{A_2} \right]}, \quad (1)$$

де Φ_S – потік одного джерела випромінювання, встановленого в первинній сфері; ρ_1, ρ_2 – коефіцієнти відбиття внутрішнього покриття первинної і вторинної сфер; A_1, A_2, A_{12}, A_D – площі відповідно первинної і вторинної сфер, еквівалентної діафрагми між сферами, вихідної

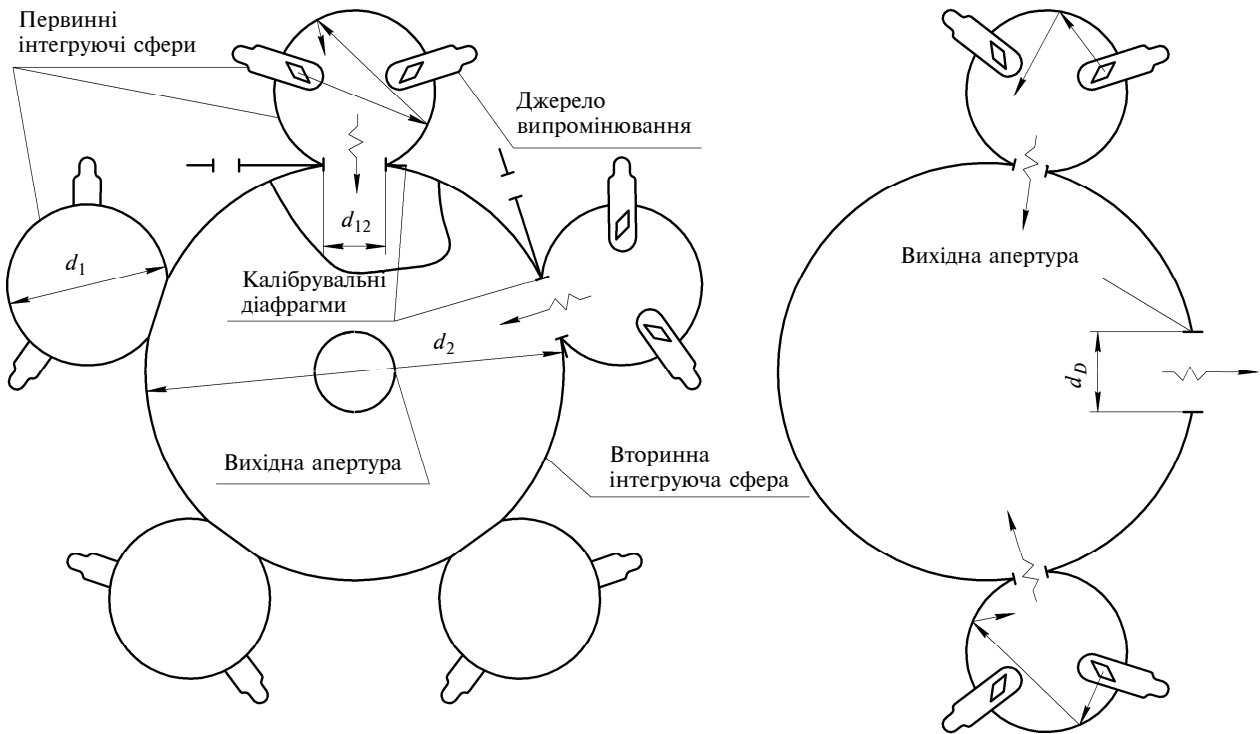


Рис. 1. Функціональна схема ДВЗЯ

зіниці вторинної сфери; N_1, N_S – кількість відповідно первинних сфер і джерел випромінювання в кожній первинній сфері (див. рис. 1).

Під еквівалентною діафрагмою в (1) розуміється калібрувальна діафрагма, площа отвору якої дорівнює сумі площ усіх калібрувальних діафрагм ДВЗЯ. Тут d_{12} – діаметр еквівалентної діафрагми.

Основні похибки формування поля яскравості на виході ДВЗЯ пов'язані з часовою деградацією відбивальних властивостей внутрішніх покриттів ρ_1 і ρ_2 , флуктуаціями напруги живлення джерел випромінювання і, як наслідок, зміною випромінювального потоку Φ_S , температурними коливаннями і технологічними похибками конструктивних елементів з діаметрами d_1, d_2, d_{12}, d_D , зміною властивостей середовища в середині ДВЗЯ тощо.

Якщо враховувати, що ДВЗЯ працює в усталеному температурному режимі, а фактори, які впливають на вихідну яскравість, статично незалежні, то похибку установки яскравості вихідної апертури, зумовлену частковими по-

хибками окремих факторів – $\Delta\Phi_S, \Delta\rho_1, \Delta\rho_2, \Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_{12}$ і Δd_D – в першому наближенні можна описати виразом

$$\frac{\Delta L}{L} = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial \Phi_S}\right)^2 \left(\frac{\Delta \Phi_S}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial \rho_1}\right)^2 \left(\frac{\Delta \rho_1}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial \rho_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta \rho_2}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial d_1}\right)^2 \left(\frac{\Delta d_1}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial d_2}\right)^2 \left(\frac{\Delta d_2}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial d_{12}}\right)^2 \left(\frac{\Delta d_{12}}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{L}}{\partial d_D}\right)^2 \left(\frac{\Delta d_D}{\bar{L}}\right)^2} \quad (2)$$

Формули для відповідних коефіцієнтів впливу – частинних похідних відносних первинних похибок $\frac{\partial \bar{L}}{\partial \Phi_S}, \frac{\partial \bar{L}}{\partial \rho_1}, \frac{\partial \bar{L}}{\partial \rho_2}, \frac{\partial \bar{L}}{\partial d_1}, \frac{\partial \bar{L}}{\partial d_2}, \frac{\partial \bar{L}}{\partial d_{12}}$,

$\frac{\partial \bar{L}}{\partial d_D}$ – наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Коefіцієнти впливу первинних похибок ДВЗЯ

Джерело похибки	Формули коefіцієнта впливу	Числове значення
Нестабільність джерела випромінювання $\Delta\Phi_S$	$\frac{\partial L}{\partial \Phi_S} = \frac{N_1 N_S \rho_1 \rho_2 A_{12}}{\pi A_1 A_2 \left[1 - \rho_1 \frac{A_1 - A_{12}}{A_1} \right] \left[1 - \rho_2 \frac{A_2 - N_1 A_{12} - A_D}{A_2} \right]}$	$34,2 \text{ ср}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$
Нестабільність внутрішнього покриття $\Delta\rho_1$	$\frac{\partial L}{\partial \rho_1} = \frac{N_1 N_S \Phi_S \rho_2 A_{12} A_1}{\pi (A_1 - \rho_1 A_1 + \rho_1 A_{12})^2 (A_2 - \rho_2 A_2 + \rho_2 N_1 A_{12} + \rho_2 A_D)}$	$1,74 \cdot 10^5 \text{ Вт}/(\text{ср} \cdot \text{м}^2)$
Нестабільність внутрішнього покриття $\Delta\rho_2$	$\frac{\partial L}{\partial \rho_2} = \frac{N_1 N_S \Phi_S \rho_1 A_{12} A_1}{\pi (A_1 - \rho_1 A_1 + \rho_1 A_{12}) (A_2 - \rho_2 A_2 + \rho_2 N_1 A_{12} + \rho_2 A_D)^2}$	$1,6 \cdot 10^5 \text{ Вт}/(\text{ср} \cdot \text{м}^2)$
Зміна діаметра первинної сфери Δd_1	$\frac{\partial L}{\partial d_1} = 8 \frac{N_1 N_S \Phi_S \rho_1 \rho_2 A_{12} d_1 (\rho_1 - 1)}{(\pi d_1^2 (\rho_1 - 1) - \rho_1 A_{12})^2 (4A_2 - 4\rho_2 A_2 + \pi \rho_2 N_1 d_{12}^2 + 4\rho_2 A_D)^2}$	$-8,86 \cdot 10^3 \text{ Вт}/[(\text{ср} \cdot \text{м}^2) \cdot \text{м}]$
Зміна діаметра вторинної сфери Δd_2	$\frac{\partial L}{\partial d_2} = -8 \frac{N_1 N_S \Phi_S \rho_1 \rho_2 A_{12} d_2 (\rho_2 - 1)}{(A_1 (\rho_1 - 1) - \rho_1 A_{12}) (\pi d_2^2 (\rho_2 - 1) - 4\rho_2 (N_1 A_{12} + A_D))^2}$	$-1,8 \cdot 10^3 \text{ Вт}/[(\text{ср} \cdot \text{м}^2) \cdot \text{м}]$
Нестабільність калібрувальної апертури Δd_{12}	$\frac{\partial L}{\partial d_{12}} = -8 \frac{N_1 N_S \Phi_S \rho_1 \rho_2 d_{12} (16 A_1 A_2 (\rho_2 + \rho_1 - \rho_1 \rho_2 - 1) + 16 A_1 A_D \rho_2 (\rho_1 - 1) + \pi^2 d_{12}^4 \rho_1 \rho_2 N_1)}{(4A_1 - 4\rho_1 A_1 + \pi \rho_1 d_{12}^2)^2 (4A_2 - 4\rho_2 A_2 + \pi \rho_2 N_1 d_{12}^2 + 4\rho_2 A_D)^2}$	$5,72 \cdot 10^4 \text{ Вт}/[(\text{ср} \cdot \text{м}^2) \cdot \text{м}]$
Нестабільність вихідної апертури Δd_D	$\frac{\partial L}{\partial d_D} = -\frac{1}{2} \frac{N_1 N_S \rho_1 \rho_2^2 \Phi_S A_{12} d_D}{\left[A_1 - \rho_1 (A_1 - A_{12}) \right] \left[A_2 - \rho_2 \left[A_2 - N_1 A_{12} - \frac{1}{2} \pi d_2^2 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{d_D^2}{d_2^2}} \right] \right]^2 \sqrt{1 - \frac{d_D^2}{d_2^2}} \right]}$	$-1,6 \cdot 10^4 \text{ Вт}/[(\text{ср} \cdot \text{м}^2) \cdot \text{м}]$

Числовий аналіз первинних похибок ДВЗЯ

При числовому аналізі сумарної похибки установки яскравості вихідної апертури було використано параметри ДВЗЯ, розробленого для калібрування широкоспектрального сканувального пристрою українсько-єгипетського супутника “Egypstat-1” [2]: $\Phi_S = 100$ Вт (галогенна лампа КГМ-12-100), $d_1 = 0,25$ м, $\rho_1 = \rho_2 = 0,99$ (покриття Spectralon SRS-99) [8], $d_2 = 1$ м, $d_{12} = 0,05$ м, $d_D = 0,2$ м, $N_1 = 3$, $N_S = 5$.

Відповідні числові значення коефіцієнтів впливу, отриманих для вказаних значень параметрів (див. табл. 1), розраховано за формулою (2) залежності похибки установки яскравості вихідної апертури $\Delta L/L$ від первинних похибок $\Delta\Phi_S$, $\Delta\rho_1$, $\Delta\rho_2$, Δd_1 , Δd_2 , Δd_{12} і Δd_D і показано на рис. 2.

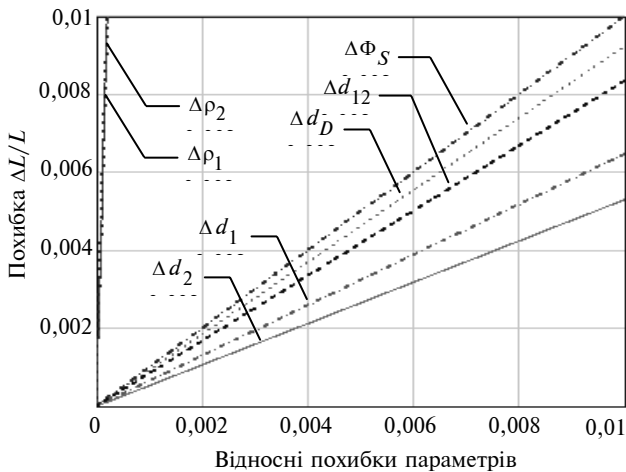


Рис. 2. Залежність похибки установки вихідної яскравості ДВЗЯ від відносних похибок його параметрів

Зазначимо, що найбільший вклад у сумарну похибку роблять похибки внутрішніх покриттів інтегруючих сфер $\Delta\rho_1$, $\Delta\rho_2$, нестабільність потоку джерел випромінювання $\Delta\Phi_S$, зміна діаметра вихідної апертури Δd_D і похибка калібрувальної діафрагми Δd_{12} . Похибка діаметра первинної і вторинної сфер Δd_1 і Δd_2 найменше впливає на сумарну похибку, але знехтувати нею не можна. Проаналізуємо вказані похибки детальніше.

Нестабільність внутрішнього покриття інтегруючих сфер зумовлена деградацією матеріалу, його гігроскопічністю, запиленістю тощо.

Для кожного з використовуваних на практиці покриттів ці фактори проявляються різною мірою, але для більшості традиційних покриттів ($BaSO_4$, MgO , Al та ін.) сумарна нестабільність перевищує 0,05 % за годину [6, 7, 9]. Істотно кращі характеристики мають нові матеріали, особливо на основі політетрафторетилену [8]. У табл. 2 наведено характеристики деградації з часом покриття Spectralon SRS-99, яке забезпечує стабільність характеристик навіть при досить довгій експлуатації з похибкою менше 0,01 %. До того ж, ці покриття надійно працюють при великому перепаді температур, що особливо важливо для первинних інтегруючих сфер.

Нестабільність живлення джерел випромінювання призводить до зміни як величини випромінювального потоку, так і його спектрального складу. Похибку вихідної яскравості ДВЗЯ, зумовлену цією зміною потоку, можна визначити за формулою [10, с. 64, 83]

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Phi_{S(\lambda, T)} \pm \Phi_{S(\lambda+\Delta\lambda, T+\Delta T)}}{\Phi_{S(\lambda, T)}}, \quad (3)$$

а зміщення максимуму спектральної характеристики – за формулою [11, с. 207, 215]

$$\Delta\lambda = \frac{2897}{T} - \frac{2897}{T[1 \pm \dot{U}]^{16,2}}, \quad (4)$$

де $\Phi_{S(\lambda, T)}$ – вихідний інтегральний потік від лампи; $\Phi_{S(\lambda+\Delta\lambda, T+\Delta T)}$ – потік від лампи, зумовлений коливанням живлячої напруги, де $T = 2850$ К – установлена температура лампи накаливання КГМ-12-100; \dot{U} – напруга живлення.

Таблиця 2. Старіння матеріалу Spectralon SRS-99

λ , нм	Початковий коефіцієнт відбивання	Коефіцієнт відбивання після витримки		
		1 місяць	4 місяці	1,5 року
400	0,988	0,987	0,988	0,986
450	0,990	0,988	0,988	0,990
500	0,989	0,985	0,987	0,985
550	0,987	0,983	0,987	0,986
600	0,987	0,984	0,988	0,988
650	0,987	0,985	0,988	0,988
700	0,986	0,983	0,988	0,987

Числові значення похибок, отриманих для різних величин пульсацій живлячої напруги,

наведені в табл. 3. Вони дають змогу оцінити їх вплив у різних випадках [12].

Таблиця 3. Похибка джерел випромінювання

Нестабільність живлення $\pm \dot{U} \cdot 100, \%$	Зміщення максимуму СГЕЯ $\pm \Delta\lambda, \text{нм}$	Зміна яскравості $\pm \Delta L_B / L_B, \%$
1	8,1	3,1
0,1	0,8	0,32
0,01	0,08	0,032

Примітка. СГЕЯ – спектральна густина енергетичної яскравості; величина $\Delta L_B / L_B$ стосується тільки аналізу джерела випромінювання.

Очевидно, що основним методом зменшення розглядуваних похибок є використання високостабільних джерел живлення і роздільно-групове під'єднання джерел випромінювання первинних сфер до кількох електрично розв'язаних блоків живлення. Наприклад, живлення джерел випромінювання ДВЗЯ з 15 лампами (групи по 5 ламп) від трьох блоків зменшує похибку установки вихідної яскравості приблизно в 1,7 раза.

Характеристики деяких джерел живлення, які можуть використовуватися з ДВЗЯ, наведені в табл. 4 [13–15] і сприяють числовій оцінці похибки джерел випромінювання для різних випадків.

Таблиця 4. Дані про деякі стабільні джерела живлення для ламп накаливання

Характеристика	MPS-3005L-1 фірми "MATRIX"	БП40/30-ПУ фірми "ПУЗАНОВ ЕЛЕКТРОНИКС"	Д36-10-01Ц "Дельта, КП"
Вихідна напруга, В	0–30	0–40	0–36
Вихідний струм, А	0–5,0	0–30	0,2–10
Нестабільність напруги під навантаженням, мВ	± 5	± 2	–
Ппульсації вихідної напруги не більше, %	$\pm 0,003$	$\pm 0,025$	$\pm 0,05$

Таблиця 5. Відхилення параметрів конструктивних елементів ДВЗЯ

Елементи ДВЗЯ	Матеріал	Нагрів $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Початкове значення параметра	Розраховане відхилення параметра, %
Первинна сфера	Дюралюміній	100	$d_1 = 0,25 \text{ м}$	0,22
	Латунь			0,19
	Сталь			0,10
Вторинна сфера	Полістирол	50	$d_2 = 1 \text{ м}$	0,40
	Фторопласт			0,12
	Дюралюміній			0,11
Калібрувальна діафрагма	Латунь	100	$d_{12} = 0,05 \text{ м}$	0,19
	Сталь			0,10
	Інвар (36,1 %)			0,009

Треба зауважити, що стабілізація напруги живлення в межах 0,05 % є досить реальною задачею навіть при значному струмі, що споживається лампами ДВЗЯ.

Зміна параметрів конструктивних елементів ДВЗЯ хоч і є (у відносних одиницях) істотним джерелом похибок (див. рис. 2), але при правильному виборі матеріалу і конструкторському підході може бути доведена до часток відсотка навіть при досить жорсткому температурному режимі випромінювача. В табл. 5 наведено розраховані по коефіцієнтах лінійного температурного розширення відхилення розмірів інтегруючих сфер і калібрувальних діафрагм для різних матеріалів і різних температурних режимів [10].

Очевидно, що ефективне охолодження первинних інтегруючих сфер може істотно знизити ці похибки. Такий самий результат дає використання в ДВЗЯ надяскравих світлодіодів, але спектр їх випромінювання значно вузьчий, ніж у лампах накаливання, і випромінюваний потік менший.

Асферичність та інші порушення форми інтегруючої сфери мало впливають на зміну вихідної яскравості, мають систематичний характер і можуть бути враховані при калібруванні ДВЗЯ.

На рис. 3 показано залежності похибок установки яскравості у вихідній апертурі від первинних похибок основних елементів ДВЗЯ із врахуванням їх реальних величин, отриманих вище.

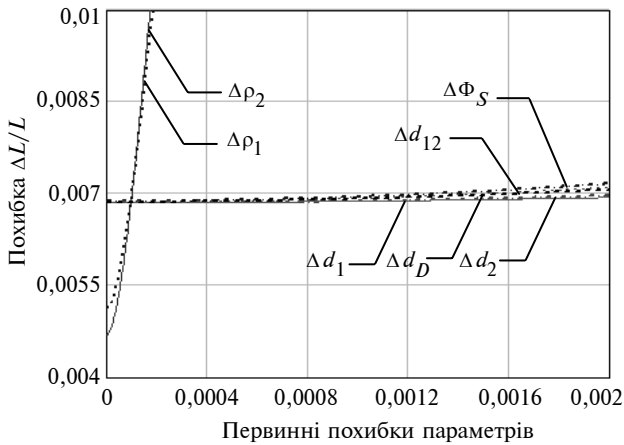


Рис. 3. Залежність похибки установки вихідної яскравості ДВЗЯ від первинних похибок при $d_{12} = 0,05$ м ($\Phi_S = 100$ Вт, $\rho_1 = \rho_2 = 0,99$, $d_1 = 0,25$ м, $d_2 = 1$ м, $d_D = 0,2$ м, $N_1 = 3$, $N_S = 5$)

При цьому для чіткішого розуміння було використано максимальні значення. Однак навіть у цьому випадку максимальна похибка установки яскравості не перевищує 1 %, чого достатньо для більшості фотометричних задач.

Динамічний діапазон ДВЗЯ

Із врахуванням того, що ДВЗЯ працює в значному діапазоні змінної яскравості (за да-

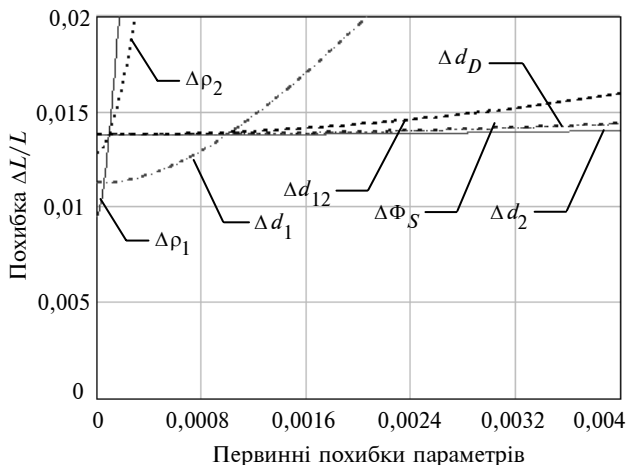


Рис. 4. Залежність похибки установки вихідної яскравості ДВЗЯ від первинних похибок при $d_{12} = 0,001$ м

ними [1] – 10^5 – 10^6), великий інтерес становить дослідження залежності похибки установки яскравості від її абсолютної величини. На рис. 4, 5 показано залежності похибки установки яскравості від первинних похибок елементів ДВЗЯ для крайніх значень діаметра калібрувальної діафрагми d_{12} 0,001 і 0,1 м, відповідно. Ці ж залежності для калібрувальної діафрагми діаметром 0,05 м були вказані раніше на рис. 2, а в табл. 6 наведено числові значення сумарної похибки установки вихідної яскравості в різних точках динамічного діапазону ДВЗЯ при первинних похибках основних елементів на рівні 0,1 %.

На рис. 4 і 5 параметри ДВЗЯ відповідають вказаним на рис. 3.

Таблиця 6. Похибка установки вихідної яскравості в різних точках динамічного діапазону

Відхилення параметрів ДВЗЯ по рівню 0,1 %	Похибка $\Delta L/L$ (%) при d_{12} (м)			
	0,001	0,005	0,05	0,1
$\Delta\rho_1/\rho_1$	10	10	5	2
$\Delta\rho_2/\rho_2$	5,1	5,1	4,5	3,6
$\Delta d_1/d_1$	1,39	1,35	0,7	0,43
$\Delta d_{12}/d_{12}$	1,39	1,35	0,7	0,43
Сумарна похибка, %	17,88	17,8	10,9	6,46

З рис. 3–5 і табл. 6 видно, що похибка установки вихідної яскравості ДВЗЯ істотно підвищується в режимі малих яскравостей. Значно зменшити цю похибку і розширити динамічний діапазон випромінювача можна, від-

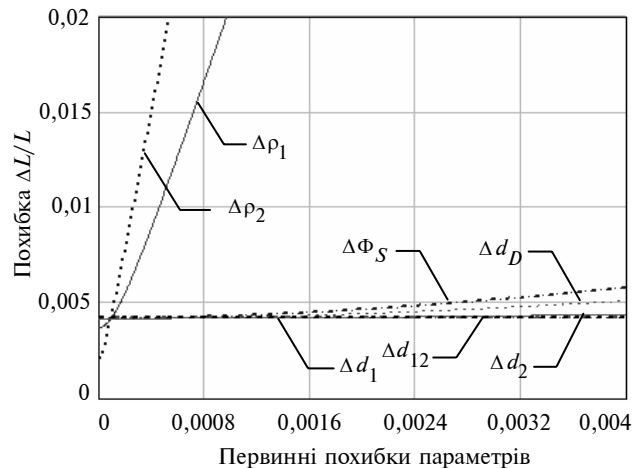


Рис. 5. Залежність похибки установки вихідної яскравості ДВЗЯ від первинних похибок при $d_{12} = 0,1$ м

ключивши частину джерел випромінювання при середньому значенні калібрувальних діафрагм у режимі малих яскравостей. Як показали експериментальні дослідження [16], кількість одночасно працюючих джерел випромінювання в первинній сфері за рахунок ефективного інтегрування потоку мало відображається на фотометричному тілі, що формується на калібрувальній діафрагмі, і майже не відображається на параметрах вихідного поля яскравості. Тому такий режим можна рекомендувати для надточних вимірювань. Щоправда, при цьому збільшується час калібрування за рахунок уповільнення процесу термостабілізації випромінювача.

На рис. 6 показано залежність нормованої яскравості вихідної апертури ДВЗЯ від діаметра калібрувальної діафрагми при різній кількості первинних сфер. Необхідно звернути увагу на

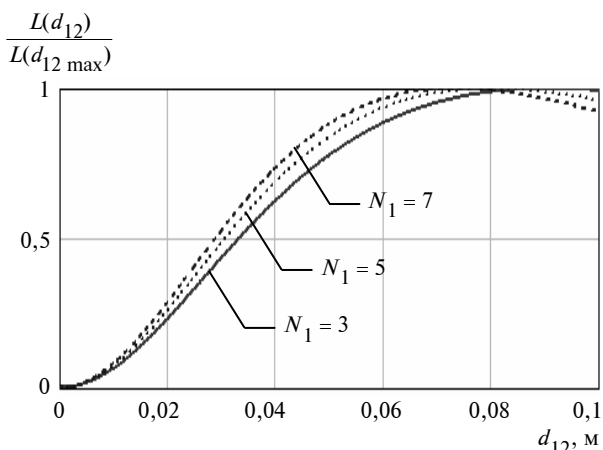


Рис. 6. Зміщення кривої нормованої яскравості при різній кількості первинних сфер N_1

існуючу нелінійність калібрувальної характеристики та її малий нахил на початку і в кінці динамічного діапазону.

Якщо до лінійності калібрувальної характеристики висуваються досить жорсткі вимоги, то слід виготовляти калібрувальні діафрагми із змінними діаметрами, що змінюватимуться не за лінійним законом, а приблизно так, як на рис. 6. Крок значень калібрувальних діафрагм має бути змінним за цим же принципом.

Експериментальні дослідження ДВЗЯ показали, що перелічені рекомендації дають можливість забезпечити лінійність вихідної яскравості в межах динамічного діапазону 10^5 – $5 \cdot 10^5$ з похибкою установки не більше 0,5 %.

Висновки

При використанні покриттів закордонного виробництва й стабілізації живлення джерел випромінювання в межах 0,1–0,05 % похибка установки вихідної яскравості ДВЗЯ може бути доведена до 0,5–1 %. Подальше зменшення похибок установки яскравості у вихідній апертурі ДВЗЯ може проводитися за рахунок удосконалення конструкції установки, термостабілізації первинних сфер і підвищення стабільності джерел випромінювання.

У подальшому передбачається на базі проведених досліджень розробити інженерну методику проектування ДВЗЯ за заданими метрологічними характеристиками із врахуванням його конструктивних особливостей.

Отримані результати будуть корисні широкому колу фахівців у галузі прецизійної фотометрії і радіометрії.

Л.А. Михеенко, Ю.А. Гордиенко

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИФУЗНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР

Представлен теоретический анализ точности диффузного излучателя переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер, а также разработана методика расчета точности диффузного излучателя при изменении его конструктивных параметров. Приведены рекомендации по

L.A. Mikheyenko, Yu.O. Gordienko

METROLOGICAL ANALYSIS OF THE DIFFUSE LIGHT SOURCE OF VARIABLE BRIGHTNESS BASED ON CONJUGATE INTEGRATING SPHERES

The paper highlights theoretical analysis of accuracy of the diffuse light source of variable brightness based on conjugate integrating spheres. We develop the calculation procedure of its accuracy when the design parameters are modified. In addition, we give some recommendations on designing

конструюванню установки диффузного излучателя для обеспечения необходимой стабильности яркости в выходной апертуре.

the diffusive light source to provide necessary stability of brightness in the output aperture.

1. *Міхеєнко Л.А., Боровицкий В.Н.* Излучатель переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* – 2006. – № 6. – С. 61–64.
2. *Колобродов В.Г., Микитенко В.І., Міхеєнко Л.А.* Стендова апаратура для вимірювання енергетичних характеристик оптико-електронних пристроїв космічного базування // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”.* – 2003. – № 3. – С. 98–103.
3. *Міхеєнко Л.А., Шишків В.А.* Дифузний випромінювач змінної яскравості для калібрування прецизійних цифрових відеосистем // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”.* – 2009. – № 1. – С. 114–120.
4. *Павлюков А.К., Хамидулина А.Р., Холопов Г.К., Чесова И.Г.* Фотометры с интегрирующими сферами для исследования материалов // *ОМП,* 1988. – № 2. – С. 28–30.
5. *Міхеєнко Л.А.* Енергетичне калібрування оптико-електронних систем дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності // VII Міжнар. наук.-техн. конф. “Приладобудування: стан і перспективи”. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2009. – С. 42.
6. *Гуревич М.М.* Фотометрия (теория, методы и приборы). – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
7. *Колобродов В.Г., Микитенко В.І., Міхеєнко Л.А.* Теорія дифузного випромінювача на основі інтегруючої сфери // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”.* – 2005. – № 4. – С. 106–114.
8. *Journal “A Guide to Reflectance Coatings and Materials”.* – <http://labsphere.com>.
9. *Міхеєнко Л.А., Гордиенко Ю.А.* Исследование точности диффузного излучателя на основе интегрирующей сферы // *Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування.* – 2008. – Вип. 35. – С. 37–41.
10. *Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г.* Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1972. – 256 с.
11. *Гуторов М.М.* Основы светотехники и источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
12. *Кушнир Ф.В.* Электрорадиоизмерения. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
13. *Лабораторные трансформаторные источники питания постоянного тока.* – <http://szmatrix.com>.
14. *Лабораторные источники питания.* – <http://4452.ua.all-biz.info>.
15. *Мощные высокостабильные источники постоянного тока.* – <http://ps.puzanov.ru/>.
16. *Міхеєнко Л.А., Боровицкий В.Н., Гордиенко Ю.А.* Экспериментальное исследование диффузного излучателя на основе интегрирующей сферы // *Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування.* – 2007. – Вип. 34. – С. 60–68.

Рекомендована Радою
приладобудівного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
25 травня 2009 року