

© 2005р. В.К. Бутенко, В.М. Годованюк, І.В. Докторович,
В.П. Омелянчук, І.М. Фодчук*, В.Г. Юр'єв, В.В. Заводя

ВАТ "ЦКБ Ритм", Чернівці

*Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОМЕТРИЧНИХ ГОЛІВОК ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ

В роботі наведені результати досліджень фотоелектричних параметрів радіометричної голівки видимого діапазону.

The results of researches of photoelectrical parameters of visible range radiometric capping were carried out.

В умовах сучасного виробництва широко використовуються джерела оптичного випромінювання, енергія яких значно перевищує допустимі норми. Це може бути причиною професійного враження органів зору та шкіри працюючого, розладу нервової системи, швидкої втоми. Тому сучасні вимоги гігієни праці потребують контролю рівня випромінювання оптичного діапазону.

На сьогодні вимірювання рівня випромінювання проводяться методами і приладами енергетичної фотометрії – радіометрами та спектро-радіометрами. До таких приладів відносять РАТ-2П (Україна), РОИ-82 та РОТС-П (Росія), модель 550 (EG&G, США), модель 111А (UDT, США) [1]. Проте ці прилади мають широкий спектральний діапазон чутливості (від 0,3 до 25 мкм) і, відповідно, вимірювання потоку випромінювання проводяться в цьому діапазоні. Для того щоб визначити енергетичну освітленість у більш вузькій спектральній області, наприклад у видимій, необхідно коригувати спектральну характеристику чутливості радіометра за допомогою світлофільтрів. При цьому спектральна характеристика радіометра повинна мати П-подібну форму, тобто радіометр повинен бути неселективним по чутливості у робочій області і не чутливим – поза її межами. Ступінь наближення реальної спектральної характеристики до ідеальної і є основним параметром рівня радіометра.

Коригувати спектральну характеристику широкополосого фотоприймача світлофільтрами досить складно. По-перше, як скляні так і інтерференційні фільтри можуть пропускати випромінювання поза робочим діапазоном, а наявність

випромінювання поза робочою областю приводить до значних похибок визначення рівня освітленості у заданій області. По-друге, не вдається сформувати плоску вершину спектральної характеристики чутливості радіометричної голівки. Це призводить до того, що для забезпечення правильності вимірювань енергетичної освітленості від джерел з різним спектральним розподілом випромінювання потрібно визначити поправочні коефіцієнти, а це ускладнює застосування радіометра. Окрім цього, первинний перетворювач радіометра – радіометрична голівка, має забезпечувати високу точність вимірювання енергетичних потоків. Вона повинна:

- 1) мати малу основну відносну похибку визначення величини чутливості δ_s ;
- 2) мати незмінну за формою спектральну характеристику чутливості;
- 3) бути стабілізована за чутливістю – нестабільність чутливості δ'_t протягом 8 годин повинна бути менше $\pm 1\%$;
- 4) мати широкий динамічний діапазон – нелінійність енергетичної характеристики δ_E не повинна перевищувати $\pm 1\%$;
- 5) мати високу рівномірність чутливості по фоточутливому елементові – нерівномірність чутливості $\delta_{x,y}$ не повинна перевищувати $\pm 1\%$;
- 6) мати скориговану спектральну характеристику чутливості під П-подібну форму;
- 7) бути визначені додаткові похибки (температурна і кутова залежність чутливості, вплив фонових засвіток, постійна часу та ін.).

Нами розроблена радіометрична голівка видимого діапазону, методики та установки для

вимірювання фотоелектричних параметрів і характеристик, а також проведені дослідження метрологічних характеристик голівки. За критерій придатності до використання радіометричної голівки в радіометрі видимого діапазону вибрали основну відносну похибку вимірювання енергетичної освітленості, яка не перевищувала $\pm 10\%$ у діапазоні зміни енергетичної освітленості від 10^{-12} до 10^{-4} Вт/м² [2].

Для забезпечення вимог до засобів вимірювальної техніки (у нашому випадку – це радіометрична голівка) були підібрані фотодіоди на основі кремнію – фотодіоди типу ФД288, проведені дослідження їх фотоелектричних параметрів, розроблена конструкторська документація та виготовлені радіометричні голівки (РГ).

Вимірювання інтегральної чутливості РГ, їх спектральних характеристик та нестабільності чутливості в часі проводилися методом порівняння з еталонним фотоприймачем, атестованим у ВНИИОФИ (м. Москва) [3]. Динамічний діапазон вимірювався методом складання освітленостей при зміні потоків випромінювання від порогового $\Phi_{п}$ до $10^8 \cdot \Phi_{п}$ [4], нерівномірність чутливості по фоточутливому елементу (ф.ч.е) – за допомогою світлового зонда діаметром $\Phi_{св}=0,1$ мм при переміщенні зонда по поверхні ф.ч.е з кроком $\Delta_{x,y}=0,01$ мм. При вимірюваннях температурної залежності чутливості використовувалася камера тепла і холоду.

Інтегральна чутливість РГ $S_{інт}$ вимірювалася на установці, структурна схема якої наведена на рис.1.

Вимірювання проводилися методом порівняння чутливості досліджуваної РГ із чутливістю контрольного фотоприймача. Як джерела випромінювання використовували лампу розжарювання з кольоровою температурою $T_{к}=2850$ К. Важливим моментом при калібруванні досліджуваних РГ є дотримання певних умов вимі-

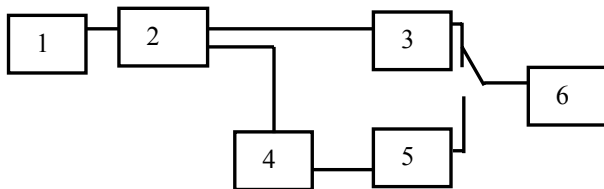


Рис. 1. Структурна схема установки для вимірювання: блок живлення випромінювача (Б5-21) (1), джерело випромінювання – лампа типу РН12-100 (2), досліджувана радіометрична голівка (3), непрозорий екран (4), контрольний приймач (5), вимірювальний прилад (6)

рювання, а саме: джерело випромінювання – точкове, тобто світловий потік має бути квазі-паралельним, необхідно точно встановлювати фоточутливий елемент РГ у площину калібрування потоку випромінювання, підтримувати стабільним потік випромінювання, ізолювати РГ від фонових засвіток, перевідбитих світлових потоків та впливу електромагнітних полів, вибрати рівень освітленості, при якому похибка вимірювання фотосигналу – мінімальна. З врахуванням перелічених факторів впливу, відносна похибка вимірювання $\delta S_{інт}$ не перевищувала $\pm 1,5\%$.

Для дослідження нестабільності чутливості зібрано установку, структурна схема якої наведена на рис.1. Точність вимірювання цього параметру залежить, насамперед, від стабільності потоку випромінювання та якості контактів джерела випромінювання з блоком живлення, а також від вимірювального приладу (поз.6). Вибір складових установки та оснащення забезпечили вимірювання з відносною похибкою $\pm 1\%$.

Після прогріву лампи РН12-100, по чергово вимірювалися фотосигнали з контрольного фотоприймача $I_{к}$ та досліджуваної $I_{д}$ РГ та визначався коефіцієнт

$$K_t = \frac{I_{д}}{I_{к}}$$

Через кожну годину протягом 8 годин неперервної засвітки досліджуваних радіометричних голівок знову вимірювалися фотосигнали і визначався коефіцієнт K_{ti} .

Нестабільність чутливості визначалася за формулою:

$$\delta_t = \frac{K_{ti} - K_t}{K_t}$$

Результати вимірювання нестабільності чутливості (максимальні значення δ_t) РГ подані в таблиці 1.

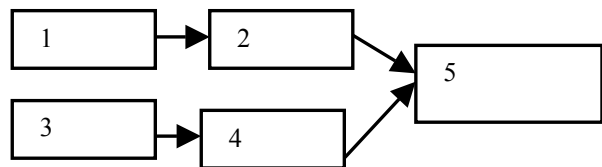


Рис. 2. Структурна схема для вимірювання нелінійності енергетичної характеристики РГ: джерело випромінювання – лампа типу КГМ24-150 (1,3), послаблювачі випромінювання (2,4), досліджувана радіометрична голівка (5)

Таблиця 1. Результати досліджень фотоелектричних параметрів РГ

Найменування параметрів, характеристик	Позначення	Значення параметра
Спектральний діапазон чутливості (по рівню 0,5), нм	$\lambda' - \lambda''$	від 380 до 760 нм
Нерівномірність вершини спектральної характеристики в діапазоні 400...700 нм, %		± 5
Чутливість, мА/Вт	$S_{\text{інт}}$	85
Діапазон вимірювання енергетичної освітленості, Вт/м ²	$E_{e \text{ min}} - E_{e \text{ max}}$	від 10^{-12} до 10^{-4}
Динамічний діапазон при нелінійності енергетичної характеристики $\delta_E = \pm 1\%$, не менше разів	d	10^8
Основна відносна похибка визначення величини чутливості, %	δ_S	± 7
Нестабільність чутливості, %	δ_t	$\pm 0,3$
Відхилення просторової характеристики чутливості від косинусної, % (не більше)		
при куті падіння: 30°	δ_{cos}	$\pm 1,5$
60°		$\pm 5,0$
80°		$\pm 9,0$
Нерівномірність чутливості по fotocутливому елементові, %	$\delta_{x,y}$	$\pm 0,5$
Температурна залежність чутливості, %/°C	—	0,15
Стала часу, мкс	τ	10,0
Час неперервної роботи, год (не менше)	$t_{\text{роб}}$	8
Розмір fotocутливого елемента	—	$\varnothing = 11,3 \text{ мм}$ площа $A_{\text{ф.ч.е}} = 100 \text{ мм}^2$

Не менш важлива характеристика радіометричних головок – лінійність перетворення падаючого потоку у відповідний вихідний сигнал. Вимірювання нелінійності енергетичної характеристики чутливості проводилися на установці, структурна схема якої наведена на рис.2, методом складання потоків випромінювання [5].

Вимірювання проводяться так: відкривається один із каналів випромінювання, встановлюється мінімальна величина потоку випромінювання та вимірюється фотосигнал U_1 , перекривається перший та відкривається другий канал випромінювання й аналогічно вимірюється фотосигнал U_2 , відкриваються обидва канали одночасно та вимірюється фотосигнал U_3 . Нелінійність чутливості РГ визначається за формулою:

$$\delta_1 = \frac{(U_1 + U_2) - U_3}{U_1 + U_2} \times 100\%.$$

Аналогічно визначається нелінійність чутливості РГ в усьому діапазоні зміни потоку, кожен раз збільшуючи потужність випромінювання у 4–5 разів по відношенню до попереднього значення потужності одного каналу.

Похибка вимірювання нелінійності чутливості при використанні даного методу не перевищує $\pm 1\%$ [5]. Максимальні значення з величин нелінійності в усьому динамічному діапазоні подані у таблиці 1.

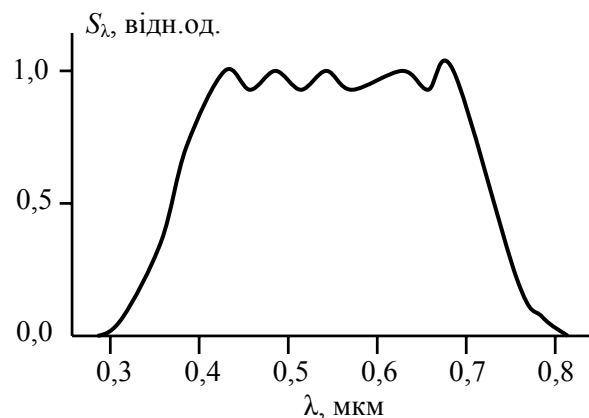


Рис. 3. Спектральна характеристика чутливості радіометричної головки

Для вимірювання спектральних характеристик радіометричних головок та визначення якості їх корекції під П-подібну форму використовувався спектральний комплекс типу КСВУ-6 та контрольний фотодіод ФД288 №1894.

Результати вимірювання спектральних характеристик радіометричних головок наведені на рис.3.

Оскільки радіометричні головки використовуються при калібруванні робочих засобів вимірювання (контрольних фотоприймачів, джерел випромінювання і т. ін.), які різняться розмірами (розміри від 0,45 до 12 мм), то такі РГ повинні мати високу рівномірність чутливості по поверхні

фоточутливого елемента. Вимірювання нерівномірності чутливості по фоточутливому елементу проводилися на установці, структурна схема якої наведена на рис.4, за допомогою світлового зонда діаметром $\varnothing_{\text{св}}=0,10$ мм при переміщенні зонда по поверхні ф.ч.е з кроком $\Delta_{x,y}=0,01$ мм. За критерій придатності досліджуваних РГ за цим параметром була вибрана величина нерівномірності, яка не перевищує $\pm 1\%$.

Для виключення впливу зміни температури на чутливість фотоприймачів застосовують термостабілізацію фотодіодів або визначають температурну залежність чутливості і враховують її під час вимірювань. Термостабілізація – досить складний технічний прийом і, відповідно, зростає вартість контрольних фотоприймачів. Окрім цього, температурні умови використання еталонних фотоприймачів близькі до температурних умов атестації (відхилення не більше $\pm 2^\circ\text{C}$) і добавка до основної похибки незначна – не більше $\pm 0,8\%$. При більших відмінностях температур бажано враховувати температурну залежність чутливості еталонних фотоприймачів.

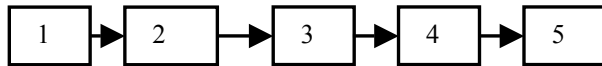


Рис. 4. Блок живлення випромінювача (1), джерело випромінювання – лампа типу РН-12-100 (2), оптична система (об'єктив “Геліос-44”) (3), досліджувана фотометрична головка на координатному столику (4), вимірювальний прилад (5)

Температурна залежність чутливості визначалася за згаданими методиками після витримки досліджуваних РГ у камері тепла і холоду (КТХ). Потік випромінювання вводився у КТХ за допомогою волоконного світловоду. Результати вимірювань подані у таблиці 1.

Отже, радіометричні голівки видимого діапазону задовольняють вимоги, які встановлюються для засобів вимірювальної техніки і придатні для використання як первинні перетворювачі високого класу радіометрів енергетичних величин потоків випромінювання видимого діапазону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гигиеническая оценка и методы контроля оптического излучения производственных источников (методические рекомендации). – Киев, 1986.
2. Санітарні норми та правила устрою, експлуатації та контролю обладнання, яке генерує електромагнітне випромінювання оптичного діапазону (інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове). – Київ, 1997.
3. Свидетельство о поверке №0-97/03 от 25.03.2003. – ФГУП ВНИИОФИ, Москва.
4. Докторович І.В., Бутенко В.К., Годованюк В.Н. Методика определения динамического диапазона полупроводниковых фотоприёмников // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – Одесса – 2002. – № 6. – С.14-15.
5. Бутенко В.К., Годованюк В.М., Докторович І.В. Установка для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 112: Фізика. Електроніка. – Чернівці: ЧНУ, 2001. – С.67-70.