

УДК 528.7; 629.78

Л.Міхеєнко, канд. техн. наук; Т.Котляренко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

ІНЖЕНЕРНІ МЕТОДИ АБСОЛЮТИЗАЦІЇ РАДІОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ВИДИМІЙ ТА БЛИЖНІЙ ІНФРАЧЕРВОНІЙ ОБЛАСТІ

Резюме. Розглянуто найперспективніші методи і схеми переносу одиниць фотометричних величин, що дозволяють вирішити більшість радіометричних задач у видимій та ближній ІЧ області спектра. Запропоновано інженерну методику та розроблено рекомендації щодо вибору основних елементів вимірювальних та калібрувальних установок. Наведено конкретні параметри цих елементів і виконано їх попередній відбір. Отримані результати будуть корисні широкому колу фахівців у галузі оптичної радіометрії та метрології, особливо – розробникам апаратури для енергетичного калібрування прецизійних оптико-електронних вимірювальних пристроїв.

Ключові слова: метрологія, радіометричні вимірювання, оптична радіометрія, калібрування еталонних випромінювачів, елементна база.

L. Miheenko, T. Kotlyarenko

ENGINEERING METHODS RADIOMETRIC MEASUREMENTS IN THE VISIBLE AND NEAR INFRARED REGION

The summary. The article highlighted the most promising methods and schemes of transfer units of the photometric values, allowing to solve the majority of radiometric targets in the visible and near infrared spectral region. We propose an engineering method and developed recommendations for choosing the main elements of the calibration of measurement and calibration equipment. The concrete parameters of these elements and made their pre-selection. The results will be useful to a wide range of experts in the field of optical radiometry and metrology, in particular the developers of equipment for energy calibration precision opto-electronic measuring devices.

Key words: metrology, radiometric measurement, optical radiometry, calibration standard emitters element base.

Постановка проблеми. Постійне вдосконалення прецизійної фотометричної і радіометричної апаратури вимагає випереджаючого розвитку відповідного еталонного і метрологічного забезпечення. Це завдання – одне з найскладніших і важливих у сучасній оптичній метрології, в Україні значно ускладнюється низкою додаткових чинників: нестачею сертифікованих еталонів та повірочних схем для енергетичних вимірів (часто є тільки проекти відповідних ДСТУ), моральним і фізичним зношенням елементної фотометричної бази, особливо в розряді зразкових засобів вимірювань, недостатнім розвитком наукового та методичного забезпечення оптико-фізичних вимірювань [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідні труднощі відчувають розробники і виробники освітлювального обладнання, в першу чергу світлодіодних освітлювальних систем і пристроїв на галогенних лампах розжарювання, дослідники в області прецизійної фотометрії, розробники інформаційного та вимірювального оптико-електронного обладнання [3, 4].

Особливо гостро описувана ситуація проявилася при розробленні систем вимірювання енергетичних характеристик і калібрування цифрових відеосистем з багатоелементними приймачами випромінювання, зокрема установок для дослідження й контролю вітчизняних оптико-електронних пристроїв дистанційного зондування Землі з космосу [5, 6].

У наведених джерелах проблема калібрування вирішується частково, а калібрувальні установки базуються, в основному, на закордонному обладнанні високої вартості.

Мета роботи. Огляд та аналіз наявної і доступної в Україні елементної та еталонної баз і розроблення рекомендацій для проведення та абсолютизації прецизійних радіометричних вимірювань на їх основі у видимій та ближній інфрачервоній областях спектра.

Постановка завдання. З метою розроблення конкретних рекомендацій щодо вибору методів та засобів калібрування еталонних випромінювачів для прецизійної радіометрії необхідно:

- розглянути та проаналізувати чинні в Україні та СНД еталони, повірочні схеми і елементну базу, що можуть використовуватися при калібруванні прецизійної радіометричної апаратури, виділити найперспективніші методи і схеми перенесення одиниць фотометричних величин;

- запропонувати просту інженерну методику та розробити рекомендації щодо вибору основних елементів систем калібрування вимірювальних і калібрувальних установок, навести конкретні параметри цих елементів і виконати їх попередній відбір;

- виконати енергетичний та метрологічний аналізи схем установок для передавання одиниці СГЕЯ, який дозволить кількісно оцінити параметри калібрування випромінювача для прецизійних радіометричних випромінювачів на початковій стадії розроблення.

Основний розділ. Методи прецизійних фотометричних вимірювань і перенесення одиниць радіометричних величин. Основні методи прецизійних фотометричних вимірювань характеристик і параметрів джерел випромінювання регламентуються ГОСТом 17616-82 та іншими нормативними документами [7–9] і стисло представлені на рис. 1. Усі інтегральні методи (рис. 1а-в) засновані на почерговому порівнянні радіометричних величин відповідно еталонного й вимірюваного (що калібрується) джерел випромінювання. При вимірюванні спектральної щільності параметра випромінювача використовують спектрокомпаратори, до складу яких входить монохроматор або спектрометр, які й визначають спектральні характеристики вимірюваного об'єкта (рис. 1г).

Для перенесення одиниць яскравості й спектральної густини яскравості використовуються проєкційні схеми (рис. 1в-г), до складу яких обов'язково входить об'єктив (зазвичай дзеркальний), за допомогою якого на вхід компаратора по черзі проєктуються випромінюючі поверхні еталона і джерела, що калібрується. Методи вибору та розрахунку параметрів проєкційного об'єктива викладено в [10] і в даній роботі не розглядаються.

Основними характеристиками систем перенесення одиниць радіометричних величин є:

- спектральний діапазон, в якому здійснюється перенесення одиниці;
- потужність еталонного випромінювача та випромінювача, що калібрується;
- геометричні параметри випромінюючих елементів;
- величина електричного сигналу на виході компаратора або реєструючого пристрою.

При вимірюванні спектральної величини важливими параметрами є:

- смуга пропускання монохроматора;
- величина монохроматичного потоку та відповідного електричного сигналу від порівнюваних випромінювачів.

Найважливішими параметрами системи передавання одиниці є похибка перенесення одиниці, що визначається параметрами еталона та відповідними повірочними схемами.

Завданням синтезу калібрувальної системи є вибір елементів (еталонних і робочих випромінювачів, об'єктива, монохроматора, вимірювального приймача і

реєструючого пристрою), які забезпечують отримання необхідних енергетичних характеристик вимірювальних (калібрувальних) установок та мінімальної похибки передавання одиниці радіометричної величини при заданому відношенні сигнал/шум.

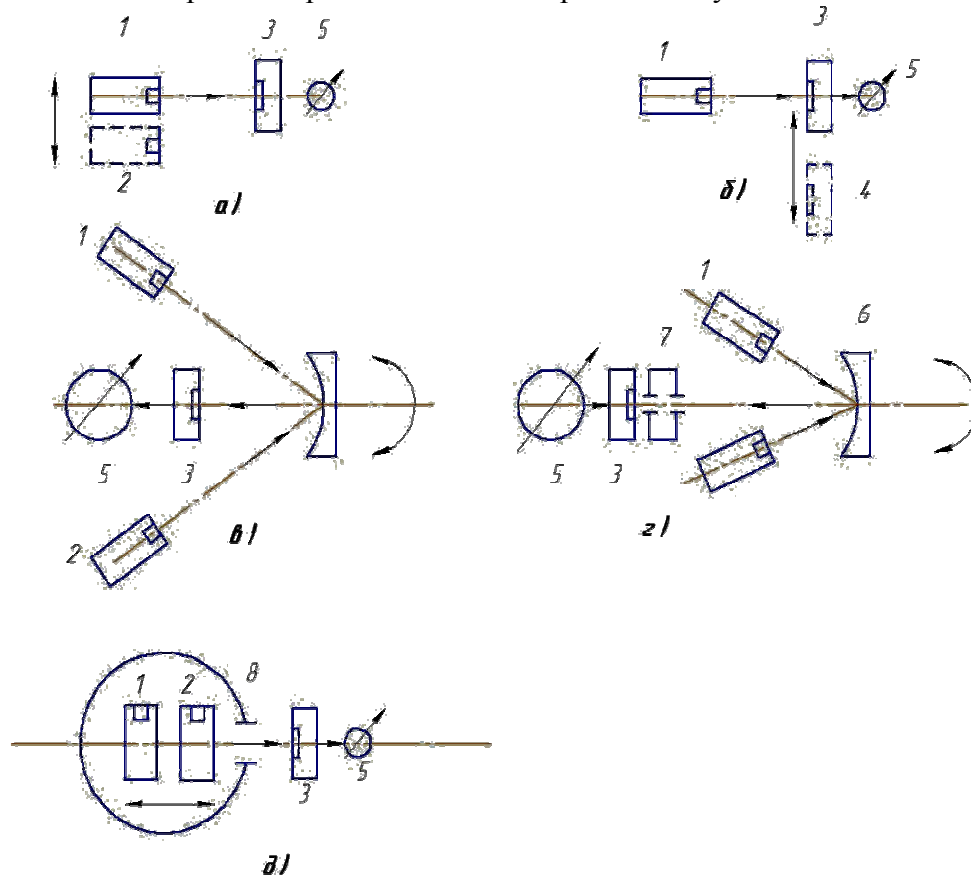


Рисунок 1. Схеми передавання одиниць: а – сили світла, б – освітленості, в – яскравості; г – спектральної щільності яскравості; д – світлового потоку. 1 – еталонний випромінювач; 2 – калібрований випромінювач; 3 – еталонний приймач випромінювання; 4 – приймач випромінювання, що калібрується; 5 – реєструючий пристрій; 6 – об’єктив; 7 – монохроматор; 8 – фотометрична куля

Еталони й повірочні схеми, що використовуються для передавання одиниць радіометричних величин. Потенційні можливості вимірювальної або калібрувальної системи визначаються використовуваними еталонами (зразковими засобами вимірювань), схемами передавання одиниць радіометричних величин і точністю використовуваних метрологічних елементів. Відзначимо також, що вибір еталона та повірочної схеми значною мірою впливають на схему вимірювальної або калібрувальної установки, метод вимірювання і використовувану елементну базу. Тому вибір еталона та повірочної схеми були й залишаються ключовими питаннями при розробленні вимірювальних і калібрувальних приладів та установок.

В даний час в Україні виникла досить складна ситуація в області метрологічного забезпечення оптико-фізичних вимірювань. Система діючих радіометричних еталонів та повірочних схем представлена в основному ДСТУ 3193-95, 3194-96, 3395-96 і рядом інших [11–13], що дозволяють досить задовільно вирішити завдання відтворення та зберігання одиниць сили світла і заснованим на цій схемі систем передавання одиниць освітленості та світлового потоку безперервного випромінювання, сили світла і освітленості імпульсного випромінювання.

Значно складніше виглядає ситуація з передаванням одиниць яскравості, а особливо спектральної густини яскравості. Якщо перша одиниця може бути відтворена

непрямими методами, то діючих вітчизняних повірочних схем для спектральної густини яскравості у видимій та інфрачервоній ділянках спектра в даний час немає. В 2000 р. у Харківському державному науково-дослідному інституті метрології Держстандарту України було розроблено документ «Державна повірочна схема для засобів вимірювання спектральної густини енергетичної яскравості у діапазоні довжин хвиль від 0,2 до 25 мкм, спектральної густини сили випромінювання та спектральної густини освітленості в діапазоні довжин хвиль від 0,2 до 2,5 мкм, потужності випромінювання, сили випромінювання та енергетичної освітленості в спектральних інтервалах від $1 \cdot 10^{-1}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ мкм у діапазоні довжин хвиль від 0,2 до 2,5 мкм» (розробники А. Назаренко, О. Купко, В. Каштаньєр) з частковим скасуванням ГОСТу 8.195-89, який міг би послужити доброю базою для метрологічного забезпечення більшості радіометричних вимірювань. Проте, наскільки нам відомо, донині зазначений стандарт повністю в дію не введений. Тому для вирішення практичних задач калібрування випромінювачів доводиться користуватися стандартами, повірочними схемами та елементними базами інших країн, адаптуючи їх до вітчизняних умов.

Істотно краща ситуація з метрологічним забезпеченням оптико-фізичних вимірювань склалася в Росії, де розроблено ряд радіометричних стандартів високого рівня. Зокрема, в 2003р. був введений ГОСТ 8.023 для вимірювання світлових величин безперервного та імпульсного випромінювання [14], який у тому ж році став міждержавним стандартом країн СНД, але Україна до цього стандарту не приєдналася. Є підстави вважати, що найближчим часом ця ситуація зміниться.

У таблицях 1–4 наведені узагальнені повірочні схеми передавання основних одиниць радіометричних величин, розроблені на основі розглянутих стандартів України, Росії та СНД, які дозволяють вибрати найраціональніший варіант для конкретної вимірювальної або калібрувальної задачі.

Елементна база систем передавання одиниць радіометричних величин. У таблицях 5–9 представлені відібрані для практичного використання у вимірювальних і калібрувальних установках основні метрологічні елементи. При виборі цих елементів основна увага приділялася:

- похибці відтворення одиниці або точності пристрою;
- фотометричним параметрам і характеристикам;
- електричним параметрам;
- доступністю в Україні і вартістю.

Методика вибору метрологічних елементів калібрувальних установок. При виборі найраціональнішого варіанта комплектації вимірювальної схеми з розглянутих елементів, ми пропонуємо користуватися методикою, яка передбачає:

- попередній вибір елементів за спектральним діапазоном, потужності джерел випромінювання та чутливості приймачів випромінювання;
- розрахунок втрат випромінювання в оптичному тракті вимірювальної схеми;
- розрахунок спектральних характеристик випромінювачів і визначення монохроматичного потоку, який потрапляє на вхід компаратора в заданому спектральному діапазоні;
- розрахунок корисних сигналів на виході компаратора при максимальному та мінімальному потоці на вході монохроматора;

- оцінювання похибки передавання одиниці радіометричної величини від заданого еталона за повірочною схемою.

Очевидно, що найкращою комбінацією елементів буде та, яка забезпечує більше відношення сигнал / шум на виході компаратора при мінімальній похибці передавання одиниці радіометричної величини.

Як приклад, розглянемо вибір основних елементів установки для калібрування оптико-електронного сканера системи дистанційного зондування Землі, що розробляється КП СПБ «Арсенал» [5, 15]. Калібрування проводилося з використанням спектральної густини енергетичної яскравості (СГЕЯ) в діапазоні 0,4...1,8 мкм, а в якості робочого еталона калібрувальної установки використовувався дифузний випромінювач на основі інтегруючої сфери з потужністю 1200 Вт при ефективній апертурі 0,25 м [15].

Попередньо було відібрано такі елементи:

- стрічкова лампа СІРШ 8.5-200;
- ділянка тіла розжарення лампи СІРШ 8,5-200, розміром 0.5x1, 2;
- світловимірювальна лампа СІС 107-1500;
- галогенна лампа КГМ-30-300-2;
- дифузний випромінювач з однією лампою СІП-107-1500;
- вимірювальний фотодіод ФД-24К;
- вимірювальний термоелемент РТН-12;
- вимірювальний фотоелектронний помножувач ФЕП 119.

Перенесення одиниці СГЕЯ здійснювалось за схемою, представленою на рис. 1г. У якості оптичної системи був використаний дзеркальний сферичний об'єктив з фокусною відстанню 1400 мм і відносним отвором 1: 6 [10]. Спектрокомпаратор побудований на основі монохроматора МДР-204.

Результати енергетичного розрахунку представлені в таблиці 10.

В основу метрологічного аналізу були покладені повірочні схеми Росії [14] і України («Державна повірочна схема для засобів вимірювання густин енергетичної яскравості в діапазоні довжин хвиль від 0,2 до 25 мкм»-проект).

Узагальнена повірочна схема, складена на їх основі, представлена таблицею 10 і дає загальне уявлення про послідовність і параметри передавання одиниці СГЕЯ від еталона до робочих засобів вимірювання. Крім цього, при аналізі були використані метрологічні характеристики елементів, що наведені у табл. 5–9.

При розрахунках сумарної похибки передавання одиниці СГЕЯ, окремі складові загальної похибки вважалися статистично незалежними, а довірча ймовірність дорівнювала 0,95. Результати аналізу наведені в таблиці 10. У якості узагальненого критерію порівняння був прийнятий відносний параметр ζ , котрий враховує втрати випромінювання в оптичній системі для конкретної пари випромінювач–приймач η , відношення сигнал / шум на виході спектрокомпаратора μ і відносну похибку передавання одиниці СГЕЯ σ .

$$\zeta = (\eta_i / \eta_{max}) * (\mu_i / \mu_{max}) * (\sigma_i / \sigma_{max})$$

Як бачимо з таблиці 10, кращі енергетичні характеристики забезпечують галогенні лампи і світловимірювальні лампи типу СІС. До недоліків ламп СІС слід віднести те, що їх в Україні не виготовляють, а їх парк неухильно скорочується.

Галогенні лампи високої якості в Україні виготовляють, але їх калібрування поки що стикається з труднощами, які, проте, як показано в [2, 16], можуть бути подолані. Таким чином, для передавання одиниці СГЕЯ у прецизійних калібрувальних установках найдоцільніше використовувати галогенні лампи, номенклатура яких досить широка.

Висновки. Розглянуто та проаналізовано чинні в Україні та СНД еталони, повірочні схеми і елементна база, що використовуються при калібруванні прецизійної радіометричної апаратури. Виділено найперспективніші методи і схеми перенесення одиниць фотометричних величин, що дозволяють вирішити більшість радіометричних завдань у видимій та ближній ІЧ області спектра.

Запропоновано інженерну методику та розроблено рекомендації щодо вибору основних елементів систем калібрування вимірювальних і калібрувальних установок. Наведено конкретні параметри цих елементів і виконано їх попередній відбір.

Виконано енергетичний та метрологічний аналіз схем установок для передавання одиниці СГЕЯ, який дозволяє кількісно оцінити параметри калібрування випромінювача для прецизійних радіометричних випромінювачів на початковій стадії розроблення.

Отримані результати будуть корисні широкому колу фахівців у галузі оптичної радіометрії та метрології, особливо – розробникам апаратури для енергетичного калібрування прецизійних оптико-електронних вимірювальних пристроїв.

Таблиця 1. Узагальнена повірочна схема передавання одиниці сили світла

Стандарти	Діапазон значень відтвореного параметра, кд	Засоби відтворення величини	Похибки передавання й відтворення одиниці		Метод передавання одиниці	Примітки
			Середньоквадратичне відхилення	Невиключена систематична похибка		
<i>Державні еталони</i>						
ГОСТ 8.023-03	35...500	Високотемпературна модель чорного тіла	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,25 \cdot 10^{-2}$	Компаратор, непрямі вимірювання	16 незалежних вимірювань
ДСТУ 3384-96	30...100	Абсолютний приймач випромінювання, випромінювачі неперервного випромінювання.	$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \cdot 10^{-2}$	Непрямі вимірювання	20 незалежних вимірювань
<i>Робочі та вторинні еталони</i>						
ГОСТ 8.023-03	35, 100, 500	Світловимірювальні лампи типу СІС Тк (2360±15) К	$0,3 \cdot 10^{-2}$	-	Непрямі вимірювання, компаратор,	-

		Тк (2860±15) К Тк (2800±15) К			безпосереднє звіряння	
ДСТУ 3384-96	35±4; 100±10; 500±50	5 світловимірювальних ламп типу СІС Тк (2360±15) К Тк (2860±15) К Тк (2800±15) К	0,25*10 ⁻²	-	Непрямі вимірювання, компаратор	-
<i>Робочі еталони 1 розряду і зразкові засоби вимірювань</i>						
ГОСТ 8.023-03	1*10 ⁻⁵ ...1*10 ⁻²	Світловимірювальні лампи типу СІС Вимірювальні лампи, фотометри	1*10 ⁻²10 ⁻²	-	Прямі вимірювання, компаратор	-
ДСТУ 3384-96	35±4; 100±10; 500±50; 1000±100	Світловимірювальні лампи типу СІС	1,5*10 ⁻² ...4*10 ⁻²	-	Прямі вимірювання, компаратор	-
<i>Робочі засоби вимірювань</i>						
ГОСТ 8.023-03	1*10 ⁻⁵ ...20 1*10 ³ ...1*10 ⁹ 1...1500 1...5000	Світловимірювальні лампи типу СІС, вимірювальні лампи, фотометри	2*10 ⁻²20*10 ⁻²		Прямі вимірювання, компаратор	-
ДСТУ 3384-96	1.....1500; 1.....5000	Світловимірювальні лампи типу СІС, вимірювальні лампи, фотометри	2*10 ⁻² ...20*10 ⁻²		Прямі вимірювання, компаратор	-

Таблиця 2. Узагальнена повірочна схема передавання одиниці освітленості

Стандарти	Діапазон значень відтворю- ваного параметра	Засоби відтворення величини	Похибки передавання й відтворення одиниці		Метод передавання одиниці	Примітки
			Середньо- квадратичне відхилення	Невиключена системати- чна похибка		
<i>Державні еталони</i>						
ГОСТ 8.023-03	-	-	-	-	Компаратор S _{Е0} =0,15*10 ⁻²	В якості державного еталона використо- вується державний первинний еталон сили світла (табл.1)
ДСТУ 3193-95	10.....10 ⁵ Вт/м ²		0,25*10 ⁻²	0,28*10 ⁻²	Компаратор, прямі вимірювання	При 15 незалежних вимірю- ваннях
<i>Робочі еталони 1 розряду, вторинні еталони</i>						
ГОСТ 8.023-03	1.....1*10 ⁵ Лк	Люксметри, фотометри, фотометричні голівки	S _{Σo} =0,3*10 ⁻²	-	Непрямі вимірювання	-
ДСТУ	0,3...100 мкм	Світловимірюв	S _{Σo} =0,6*10 ⁻²	-	Компаратор	-

3193-96	400...1360 Вт/м ²	альні лампи; галогенні лампи; моделі чорних тіл				
<i>Робочі еталони 1 розряду, вторинні еталони</i>						
ГОСТ 8.023-03	1.....2*10 ⁵ Лк	Люксметри, фотометри, фотометричні голівки	1*10 ⁻² ...10*10 ⁻²	-	Прямі вимірювання, компаратор (фотометр)	-
ДСТУ 3193-96	10...10 ⁵ Вт/м ² 1...10 ⁶ Вт/м ² 0,1...100 Вт/м ²	Смугові приймачі випромінювання, приймачі випромінювання з плоскою приймальною поверхнею; моделі чорних тіл, галогенні лампи	0,8*10 ⁻² 1,2*10 ⁻² ... 2,0*10 ⁻² 1,5*10 ⁻² 1,0*10 ⁻²	-	Прямі вимірювання, компаратор	-
<i>Робочі засоби вимірювань</i>						
ГОСТ 8.023-03	1....1*10 ⁵ Лк	Фотометри, фотометричні голівки, люксметри	7*10 ⁻²10*10 ⁻²	-	Прямі вимірювання, компаратор	-
ДСТУ 3193-95	1.....10 ⁷ Вт/м ² 0,1.....100 Вт/м ²	Смугові приймачі випромінювання. Приймачі випромінювання з плоскою приймальною поверхнею. Моделі чорних тіл. Лампи розжарювання	1,5*10 ⁻² ..2*10 ⁻² 2*10 ⁻²8*10 ⁻² 1,5*10 ⁻² ..2*10 ⁻² 2*10 ⁻²5*10 ⁻²	-	Прямі вимірювання, компаратор	-

Таблиця 3. Узагальнена повірочна схема передавання одиниці світлового потоку

Стандарти	Діапазон значень відтвореного параметра, Лм	Засоби відтворення величини	Похибки передавання й відтворення одиниці		Метод передавання одиниці	Примітки
			Середньо-квадратичне відхилення	Невиключена систематична похибка		
<i>Державні еталони</i>						
ГОСТ 8.023-03	500....1500	Високотемпературна модель чорного тіла; інтегруюча сфера (діаметр 2м)	0,13 * 10 ⁻²	0,25*10 ⁻²	Компаратор, непрямі вимірювання	16 незалежних вимірювань
Проект ДСТУ	-	-	S _{Σo} =0,5*10 ⁻²	-	Непрямі вимірювання	В якості державного еталона використовується державний первинний еталон сили світла (табл. 1)

<i>Робочі еталони, робочі еталони О розряду</i>						
ГОСТ 8.023-03	500, 1500	Світловимірювальні лампи типу СИП Тк (2360±15) К Тк (2860±15) К Тк (2800±15) К Інтегруюча сфера (діаметр 2м)	$S_{\Sigma_0} = 0,5 \cdot 10^{-2}$	-	Безпосередні звіряння, прямі вимірювання, компаратор	-
Проект ДСТУ	500, 3500	Світловимірювальні лампи типу СИП	$S_{\Sigma_0} = 0,7 \cdot 10^{-2}$	-	Компаратор	-
<i>Робочі еталони 1 розряду, зразкові засоби вимірювань</i>						
ГОСТ 8.023-03	10, 50, 150, 500, 1500, 3500	Світловимірювальні лампи типу СИП Тк (2360±15) К Тк (2860±15) К Тк (2800±15) К Інтегруюча сфера.	$1 \cdot 10^{-2} \dots 10 \cdot 10^{-2}$	-	Компаратор (фотометр)	-
Проект ДСТУ	10, 50, 150, 500, 1500, 3500	Світловимірювальні лампи типу СИП. Інтегруюча сфера	$1,9 \cdot 10^{-2} \dots 3 \cdot 10^{-2}$	-	Прямі вимірювання, компаратор	-
<i>Робочі засоби вимірювань</i>						
ГОСТ 8.023-03	5.....3500	Світловимірювальні лампи типу СИП	$3 \cdot 10^{-2} \dots 4 \cdot 10^{-2}$	-	Компаратор	-
Проект ДСТУ	10...3500	Світловимірювальні лампи типу СИП	$3 \cdot 10^{-2} \dots 4 \cdot 10^{-2}$	-	Компаратор	-

Таблиця 4. Узагальнена повірочна схема передавання одиниці СГЕЯ

Стандарти	Діапазон значень відтворюваного параметра		Засоби відтворення величини	Середньоквадратичне відхилення	Невиключена систематична похибка	Метод передавання одиниці
	λ , мкм	СГЕЯ, Вт/(ср*м ³)				
<i>Державні еталони</i>						
ГОСТ 8.196-76	0,25.....2,5	$1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^{11}$	МЧТ	$0,1 \cdot 10^{-2} \dots 1,5 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-2} \dots 2,0 \cdot 10^{-2}$	Компаратор
ГОСТ 8.195-89	0,25.....25	$1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^{12}$	МЧТ, стрічкові лампи	$0,5 \cdot 10^{-2} \dots 2,5 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-2} \dots 2,0 \cdot 10^{-2}$	Безпосереднє звіряння
Проект ДСТУ	0,2.....2,5	$4 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^{11}$	МЧТ	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	Непрямі вимірювання, компаратор
<i>Робочі еталони</i>						
ГОСТ 8.196-76	0,25.....2,5	$1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^{11}$	Стрічкові лампи	$0,5 \cdot 10^{-2} \dots 2,5 \cdot 10^{-2}$	-	Компаратор
ГОСТ 8.195-89	0,25.....2,5	$1 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^{12}$	МЧТ, стрічкові лампи	$0,5 \cdot 10^{-2} \dots 2,5 \cdot 10^{-2}$	-	Прямі вимірювання, компаратор
Проект ДСТУ	0,2.....2,5 0,2.....25	$4 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^{11}$	МЧТ, стрічкові лампи, галогенні лампи	$2 \cdot 10^{-2} \dots 6 \cdot 10^{-2}$	-	Непрямі вимірювання, компаратор
<i>Зразкові засоби вимірювань</i>						

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ГОСТ 8.196-76	0,25.....2,5	$1*10^7 \dots 1*10^{12}$	Стрічкові лампи	$1,5*10^{-2} \dots 8*10^{-2}$	-	Компаратор
ГОСТ 8.195-89	0,25.....10	$1*10^7 \dots 1*10^{12}$	МЧТ, стрічкові лампи	$1,5*10^{-2} \dots 8*10^{-2}$	-	Компаратор
Проект ДСТУ	0,2.....10	$4*10^4 \dots 1*10^{11}$	Стрічкові лампи	$2*10^{-2} \dots 12*10^{-2}$		Непрямі вимірювання, компаратор

Таблиця 5. Вимірювальні приймачі випромінювання

Тип приймача випромінювання	Країна, фірма	Матеріал чутливого шару	Спектральний діапазон, мкм	Чутливість	Розмір чутливої поверхні, мм	Габаритні розміри, мм
ФД-24К	Росія	Si	0.47-1.0	$0.6*10^{-8}$ А/Лк	Ø10	6.5x19.6
ФД-288Б	Україна	Si со світлофільтром	0.38-0.78	$8*10^{-6}$ А*м ² /Лк	Ø10	-
S1227	Японія Hamamatsu	Si	0.19-1.0	0.12 А/Вт	10x10	17x17
J16Si-8A+RO3M-Se	США Judson technologies	Si, Ge Sandwich	0.4-1.0 1.1-1.8	0.45 А/Вт 0.65 А/Вт	Ø5 Ø3	-
S2281	Японія Hamamatsu	Si	0.19-1.1	0.5 А/Вт	Ø10	25x10
G-050	США EOS	Ge	1.0-1.8	0.9 А/Вт	10x10	17x17
РТН-10	Росія	Сурмяна чернь	0.18-5.5	(0.5-2.0)В/Вт	1.5x3	65x18
РТН-12	Росія	Сурмяна чернь	0.18-5.5	(6-20)В/Вт	1.5x12	110x25
РТН-20	Росія	Сурмяна чернь	0.18-5.5	(0.5-2.0)В/Вт	1.5x12	110x25

Таблиця 6. Вимірювальні ФЕП

Тип ФЕП	Матеріал фотокатода	Спектральний діапазон (по рівню 0,1), нм	Габарити фотокатода, мм	Вхідна апертура, мм	Анодна чутливість, А/лм	Темновий ток, А	Габаритні розміри, мм
106	Сурм'яно-калієво-натрієво-цезієвий	300-850	6x178	44	1000	$2,5*10^{-8}$	-
110	Сурм'яно-калієво-натрієво-цезієвий	300-850	60x110	60	10-100		Ø80x125
112	Срібно-киснево-цезієвий	250-1100	5x90	21,5	100	$3*10^{-7}$	Ø21,5x75
114	Сурм'яно-калієво-цезієвий	250-850	10x90	21,5	30	$5*10^{-9}$	Ø21,5x75
118	Сурм'яно-калієво-натрієво-цезієвий	300-850	52x110	40	10	$5*10^{-9}$	-
119	Сурм'яно-калієво-натрієво-цезієвий	300-850	25x115	40	10-100-1000	$3*10^{-10}$ $2*10^{-9}$ $3*10^{-8}$	-
130	Sb-Cs-K	200-650	20x105	30	100	$2*10^{-5}$	-
136	Сурм'яно-калієво-натрієво-цезієвий	300-850	6x179	44	100-300	$5*10^{-8}$	-
140	Sb-Cs-K	200-650	25x105	30	10-1000	$3*10^{-2}$	-

Таблиця 7. Вимірювальні лампи розжарення

Тип	Країна	Величи	На-	Сила	Фотоме-	Трива-	Габаритні	Розміри	Колірна
-----	--------	--------	-----	------	---------	--------	-----------	---------	---------

лампи		на, що передається	пруга, В	струму, А	трична величина	лість горіння, год.	розміри, мм	тіла розжарювання (робочої зони), мм	температура, К°
СІС 107-100	Росія	Сила світла	107	1,5	100 кд	-	Ø130x200	39x66	2360
СІС 107-500	Росія	Сила світла	107	3,4	500 кд	-	Ø130x200	25x25	2800
СІС 107-1000	Росія	Сила світла	107	6,2	1000 кд	-	Ø130x200	25x30	2854
СІС 107-1500	Росія	Сила світла	107	8,55	1500 кд	-	Ø130x235	28x35	2360
СПП 35-150	Росія	Світловий потік	35	0,6	150 лм	-	Ø88x150	38x62	2360
СПП 35-500	Росія	Світловий потік	35	1,2	500 лм	-	Ø88x140	-	2360
СПП 107-500	Росія	Світловий потік	107	0,7	500 лм	-	Ø88x150	38x62	2800
СПП 107-1500	Росія	Світловий потік	107	1,1	1500 лм	-	Ø100x210	25x15	2800
СПП 107-3500	Росія	Світловий потік	107	2,4	3500 лм	-	Ø115x235	25x20	2360
СІРШ 6-100-1	Росія	Яскравість	6	16,6	-	200	Ø45x155	2.0x8	2840
СІРШ 8.5-200	Росія	Яскравість	6,5	23.5	-	300	Ø85x160	2.0x10	3000
ТРШ 2850	Росія	Яскравість	-	-	-	50	Ø16x26	0.3x3.5	2850
ТРШ 3000	Росія	Яскравість	8	8,25	-	300	Ø37x135	1.0x8	3000

Таблиця 8. Галогенні лампи з розсіювачем

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга живлення, В	Світловий потік, Лм	Продовження горіння, год.	Габаритні розміри, мм	Розміри тіла розжарювання, мм	Розміри робочої зони *, мм
КГМН 12-20-2	20	12	315	2000	31xØ10	1.0x2.8	5.2x14.8
КГМ 12-40-2	40	12	720	130	45xØ10,5	1.5x3.0	8.0x16.0
КГМН 12-50-2	50	12	950	2000	40xØ12	1.2x3.2	6.0x16.8
КГМ 12-100-2	100	12	1800	350	47xØ11	2.3x4.0	12.0x20.0
КГМН 15-150	150	15	4100	50	50xØ12	3.0x2.0	16.0x10.4
КГМ 30-300-2	300	30	9000	55	55xØ15	3.5x6	18.4x30.0
CAPSULELINE PRO	50	12	950	100	44xØ12	2.0x3.8	10.0x20.0
CAPSULELINE PRO	100	12	2200	100	44xØ12	2.0x3.8	10.0x20.0

*Розміри робочої зони вказані для зовнішньої поверхні розсіювача зі скла МС-23, товщиною 4мм, встановленого впритул до колби лампи.

Таблиця 9. Характеристики та параметри монохроматорів

Тип монохроматора	Країна	Спектральний діапазон, мм	Оптична система			Зворотна дисперсія, нм/мм	Похибка встановлення довжини хвилі, нм	Ширина щілин, мм
			Схема	f' об, мм	Доб/ fоб			
МДР-204	Росія	190-5000	Еберта-Фасті	300	1/6	2,6	0,5	0-4
МДР-206	Росія	190-5000	Еберта-Фасті	180	1/4	4,3	0,5	0-4
МДР-40	Росія	200-25000	Оригінальна	300	1/6	2	0,025	0-4
MS 2001	США	180-60000	Черні-Тернер	200	1/3,6	4,12	0,12	0-2
MS 3501	США	180-60000	Черні-Тернер	350	1/3,8	2,37	0,06	0-2
MS 750i	США	180-60000	Черні-Тернер	750	1/8,9	0,9	0,015	0-2
MSDD 1000	США	180-60000	Модифікована Черні-Тернер	1000	1/5,9	0,78	0,012	0-2

Таблиця 10. Метрологічні характеристики схем перенесення одиниці СГЕЯ

Випромінювач	Випромінююча апертура, мм	Потік на виході випромінювача, Вт	Коефіцієнт пропускання оптичного тракту, η	Монохроматичний потік на виході монохроматора, Вт		Максимальний сигнал на виході приймача випромінювання, В			Відносне значення відношення сигнал/шум, μ	Узагальнений критерій звіряння ζ
				Мін.	Макс.	РТН-12	ФД-24К	ФЭУ-112		
Дифузний випромінювач 12*КГМ 30-300-2	Ø250	144,5	1,4*10 ⁻⁶	3,4*10 ⁻¹⁰	5,5*10 ⁻⁹	1,1*10 ⁻⁷	4,6*10 ⁻⁵	2,72*10 ⁻³	1,46*10 ⁻²	8,76*10 ⁻³
СІРШ 8,5*200	2x10	22,5	1,4*10 ⁻⁴	7,5*10 ⁻⁷	8,5*10 ⁻⁶	1,7*10 ⁻⁴	8,5*10 ⁻⁶	4,23*10 ⁻²	8,27*10 ⁻¹	1,82*10 ⁻¹
СІРШ 8,5*200 (ділянка стрічки)	0,5x1,2	0,68	4,2*10 ⁻²	2,2*10 ⁻⁸	2,5*10 ⁻⁷	5,1*10 ⁻⁶	2,5*10 ⁻⁷	1,25*10 ⁻³	6,72*10 ⁻³	6,7*10 ⁻³
СІС 107-1500	28x35	300,1	2,9*10 ⁻⁴	4,5*10 ⁻⁹	7,1*10 ⁻⁸	1,4*10 ⁻⁶	5,9*10 ⁻⁴	8,69*10 ⁻²	0,47	0,47
КГМ 30*300-2 з розсіювачем	3,5x6	99,1	1,4*10 ⁻⁴	8,8*10 ⁻⁹	1,4*10 ⁻⁷	2,8*10 ⁻⁶	1,2*10 ⁻³	1,86*10 ⁻¹	1	0,85
Дифузний випромінювач	Ø250	19,7	1,4*10 ⁻⁶	4,5*10 ⁻¹¹	7,5*10 ⁻¹⁰	1,5*10 ⁻⁸	6,3*10 ⁻⁶	3,88*10 ⁻⁴	2,09*10 ⁻³	1,38*10 ⁻³

нювач 1*СПП- 107-3500										
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Література

1. Золотаревський, Ю.М. Методологічні основи та перспективи розвитку сучасної оптичної радіометрії [Текст] / Золотаревський Ю.М., Іванов В.С., Котюк А.Ф. та ін // Вимірювальна техніка. – 2005. – № 11. – С.8–16.
2. Купко, А.Д. Метрологічне забезпечення світлових вимірів в Україні [Текст] / А.Д. Купко, Л.А. Назаренко // Світлотехніка. – 2001. – № 5. – С.38–40.
3. Огаєв, С.А. Сучасний стан забезпечення єдності вимірювань світлових величин [Текст] / С.А. Огаєв, В.І. Старицький, Н.А. Парфентьев та ін. // Вимірювальна техніка. – 2005. – № 11. – С.34–37.
4. Заутер, Г. Фотометрія світлодіодів [Текст] / Г. Заутер, М. Ліндеманн, А. Шперлін та ін //Світлотехніка. – 2004. – № 3. – С.5–11.
5. Міхеєнко, Л.А. Енергетична калібрування багатоспектральних сканерних пристроїв високої чіткості [Текст] / Л.А. Міхеєнко, В.І. Микитенко // Космічна наука і технологія. – 2009. – Т.15. – № 3. – С.42–49.
6. Міхеєнко, Л.А. Метрологічне забезпечення радіометричної калібрування оптико-електронних пристроїв дистанційного зондування Землі [Текст] / Л.А. Міхеєнко, В.І. Боровицький // Космічна наука і технологія. – 2009. – № 5. – С.3–15.
7. ГОСТ 17616-82. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров.
8. ГОСТ 8.195-89. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической яркости в диапазоне длин волн 0,25-25,00 мкм.
9. ГОСТ 8.196-76. Государственный специальный эталон общесоюзная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости непрерывного оптического излучения сплошного спектра в диапазоне длин волн 0,25-2,5 мкм.
10. Гайворонська, Г.О. Оптична система установки для передачі одиниць фотометричних величин [Текст] / Г.О. Гайворонська, Л.А. Міхеєнко, В.М. Сокурєнко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2007. – Вип.33. – С.29–36.
11. ДСТУ 3193-95. Державна повірна схема для засобів вимірювань енергетичної освітленості некогерентним випроміненням.
12. ДСТУ 3394-96. Державна повірна схема для засобів вимірювань світлових величин.
13. ДСТУ 3395-96. Державна повірна схема для засобів вимірювань енергетичної освітленості малих рівнів.
14. ГОСТ 8.023-2003. Межгосударственный стандарт. Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин непрерывного и импульсивного излучений.
15. Міхеєнко, Л.А. Дифузний випромінювач змінної яскравості для калібрування прецизійних цифрових відеосистем [Текст] / Л.А. Міхеєнко, В.А. Шишкін // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 1. – С.114–120.
16. Міхеєнко, Л.А. Вторинний еталон яскравості на базі галогенною лампи з розсіювачем [Текст] / Л.А. Міхеєнко, В.І. Боровицький // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. – 2008. – № 3 (75). – С.61–64.

Отримано 10.05.2011